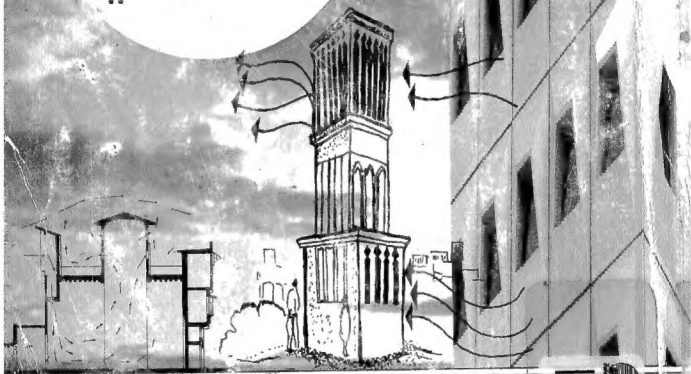


العناصر المناخية و التصميم المعماري



الدكتور سعيد عبد الرحيم سعيد بن عوف

جامعة الملك سعود
النشر العلمي و المطبوعي





قال تعالى:

«وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا»

«صدق الله العظيم»

العناصر المناخية والتصميم المعماري

تأليف

الدكتور سعيد عبد الرحيم سعيد بن عوف

أستاذ العمارة وعلوم البناء

كلية العمارة والتخطيط - جامعة الملك سعود

النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب. ٢٤٥٤ الرياض ١١٤٥١ - المملكة العربية السعودية



جامعة الملك سعود، ١٤١٨هـ

ح

مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

عوف. سعيد عبد الرحيم سعيد

العناصر المناخية والتصميم المعماري - الرياض.

٢٤٠ ص ١٧ × ٢٤ سم

ردمك ٩٩٦٠٠٠٥-٦٦١-٩

٢- التصميم المعماري

١- هندسة الإنشاءات

١- العنوان

٣- الجاني - مواصفات

١٨/٢٣٩٣

ديوي ٦٩٢

رقم الإيداع: ١٨/٢٣٩٣

٩٩٦٠٠٠٥-٦٦١-٩

ردمك:

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي وقد وافق على نشره في اجتماعه التاسع عشر للعام الدراسي ١٤١٤/١٤١٥هـ الذي عقد بتاريخ ١٤١٥/١/٣هـ الموافق ١٩٩٤/٦/١٢م.

مطابع جامعة الملك سعود



شكر وتقدير

الشكر والتقدير لكل من أسهم في هذا العمل المتواضع بصورة مباشرة أو غير مباشرة. الشكر موصول إلى سعادة الدكتور خالد بن عبدالله المقرن عميد كلية العمارة والتخطيط، وسعادة الدكتور إبراهيم الجوير وكيل الكلية، وسعادة مدير الشؤون الإدارية الأخ سليمان الهديان لإتاحتهم الفرصة للاستفادة من الأجهزة والمعدات الخاصة بالكلية. والشكر والتقدير والامتنان إلى أسرة مركز البحوث بكلية العمارة والتخطيط ممثلة في مديرها سعادة الدكتور سلمان السديري ونائبه المهندس محمد المديبيغ لمساعدتهم القيمة في الطباعة والتصوير. والشكر موصول إلى كل الزملاء الذين أسهموا بأرائهم وأفكارهم ودعمهم المعنوي الذي كان له أبلغ الأثر. والشكر والتقدير إلى كل قارئ يقوم بمراجعة هذا الكتاب ويقدم النصح المفيد والنقد البناء والهادف، من أجل المصلحة العامة.

والله الموفق

المؤلف

تقديم

هذا الكتاب محاولة متواضعة من المؤلف لجمع المعلومات والدراسات التي تعنى بأساسيات التصميم المناخي . فيعنى بدراسة العناصر المناخية الرئيسية وأثرها على التصميم المعماري، ومتطلبات الراحة الحرارية للإنسان. والهدف الأساسي من هذا الكتاب هو أن تكون المادة التي يحتويها في متناول طلبة العمارة بالجامعات العربية عامة، وجامعات المملكة العربية السعودية خاصة. ولجعل المعلومات سهلة وواضحة كانت محاولة استعمال التعبيرات المبسطة إضافة إلى الرسوم التوضيحية. ولقد اعتمد الكتاب على العديد من المؤلفات، والمراجع، والمنشورات التي لها علاقة بالموضوع، وقد تم رصدها في قائمة المراجع. وبما أن معظم المراجع المتوفرة حالياً كُتبت باللغة الإنجليزية، فقد كانت هنالك صعوبات جمّة في ترجمة الكثير من المصطلحات إلى اللغة العربية. ولمساعدة القارئ العربي كان لا بد من إضافة قائمة تشرح معاني المصطلحات المهمة والتي يصعب شرحها في كلمة أو كلمتين. ولتحقيق هذه الغاية فقد تمت الاستعانة بعدد من قواميس اللغة العربية المتخصصة، وبعض المراجع العربية، وبعض رمائتي أساتذة كلية العمارة والتخطيط. وعلى الرغم من المحاولات الجادة، لا يزال هنالك قصور واضح في هذا المجال، والذي نأمل أن يزول بتضافر جهود كل الاختصاصيين في مجال العمارة والتخطيط، والهندسة، وتقنية المباني، واللغة العربية... الخ.

وفي الختام لا بد من التنويه هنا إلى أن هذه هي المحاولة الأولى لإخراج هذا

الكتاب، والذي دون شك يحتوي على نقص هنا وقصور هناك. وإني أستمع القاريء عن هذا النقص وذلك القصور، وفي سعينا الحثيث نحسب الأفضل فإني أقدمها دعوة صادقة إلى جميع الباحثين، وأساتذة الجامعات، والمعماريين، وكل من له اهتمام بموضوع هذا الكتاب ألا يخلوا علينا بأرائهم الهادفة ومقترحاتهم البناءة والتي سوف تجد كل عناية واهتمام .

المؤلف

المقدمة

لاشك أن للمناخ الطبيعي دوره الأساسي في حياة الإنسان . ومنذ أن خلق الله سبحانه وتعالى الإنسان وهو يبحث عن المأوى المناسب والذي يوفر له متطلباته المختلفة ومنها المناخ الملائم الذي يساعده على أداء نشاطاته اليومية على أكمل وجه . وبمرور الزمن تطورت حياة الإنسان ونمت المجتمعات الحضرية وانتشرت المجمعات السكنية وازدادت متطلبات الحياة نتيجة لهذا التطور، وصار الإنسان يهتم ببناء المستشفيات والمصانع والمدارس والأسواق التجارية والمكاتب والأماكن الترفيهية والخدمات الأخرى . وبعد أن كان الإنسان يستعمل المواد التقليدية التي عرفها وتمرس في استعمالها وتفهم خصائصها الإنشائية والحرارية ومتطلباتها من الصيانة والنظافة، قدمت التقنية الحديثة مواد أخرى كثيرة ومختلفة لم يتوافر الوقت الكافي لتجربتها، ومثال ذلك الوحدات السابقة الصب أو السابقة التجهيز precast panels من الخرسانة المسلحة أو الصوف الزجاجي أو الجبس . . . وغيرها والأنواع الحديثة من الزجاج والبلاستيك . وكان لهذه المواد الحديثة أثرها الكبير ودورها المهم في الأداء الحراري للمباني في عهدنا الحاضر . ونظرا لتوافر الطاقة في العديد من البلدان العربية التي خصها سبحانه وتعالى بثروات بترولية هائلة فقد اعتمدت أغلب المباني اعتمادا كليا على التكيف الميكانيكي للبيئة الداخلية . وللأسف اقتصر دور كثير من المهندسين المعماريين على تصميم المبنى في حين أن المهندس الميكانيكي يقوم بتحديد احتياجات المباني الحرارية و ما يرتبط بها من معدات وأجهزة وتجهيزات التكيف الميكانيكي وهو الأمر الذي يحتاج إلى تقويم . لاشك أن هذه نظرة خاطئة، إذ لا بد للمهندس المعماري أن يؤدي دوره كاملاً، من خلال الدراسة والتحليل المتقن لكل العوامل والعناصر المناخية التي تؤثر على المبنى

وتتفاعل معه، وبالتالي تحدد مستوى أدائه الحراري. وعلى ضوء هذه الدراسات يمكن للمعماري التوصل للقرارات التصميمية المناسبة والتي تؤدي إلى التصميم الذي يحترم المناخ الخارجي ويتفاعل معه ويستفيد من خصائصه، ويساعد في تخفيض كلفة التحكم الميكانيكي في المناخ الداخلي أو إلغائها نهائياً.

يتفاعل المبنى مع المناخ الخارجي، ونتيجة لهذا التفاعل يتحدد المناخ الداخلي وبالتالي تتحدد نوعية المعالجة التي يحتاجها المبنى لتوفير المناخ الملائم لحياة الإنسان. يعتمد تفاعل المبنى مع المناخ المحيط به على عدة عوامل أهمها تنسيق الفراغات المحيطة بالمبنى، وشكل المبنى وتشكيله، وتوجيه المبنى، والألوان الخارجية لغلاف المبنى، والخصائص الحرارية للمواد المستعملة والفتحات؛ مساحتها وموقعها وشكلها. وهنالك الكثير من الدروس والحلول المعمارية الجيدة التي تجمعت عبر التاريخ والتي عكست ملاءمة العمارة التقليدية للمناخ. ويمكن القول إن التصميم المعماري الذي يعالج خصائص العناصر المناخية ويتفاعل معها هو أحد الوسائل الفعالة في تحقيق الراحة الحرارية والتي تساعد أيضاً على ترشيد استهلاك الطاقة في المباني. ويعد غلاف المبنى الخارجي بمثابة خط الدفاع الأول تجاه تأثيرات المناخ الخارجي. ويمكن للمعماري، من خلال الاستعانة بنتائج الدراسات المناخية للموقع، أن يقوم بالتصميم الملائم الذي يساعد في تقليل الاعتماد على التكييف الميكانيكي وذلك بالاستفادة من العوامل الطبيعية للمناخ. إن تخفيض استهلاك الطاقة التي يحتاجها المبنى من أجل تكييف المناخ الداخلي وعلى المدى البعيد يجعل التصميم المعماري الذي يهتم بالخصائص المناخية ويستفيد من الطاقة الطبيعية، أحد البدائل لتخفيض تكلفة استخدام المبنى. إن معظم الحلول التصميمية التي تحترم العناصر المناخية قليلة التكلفة ولا تحتاج إلا الحنكة ومقدرة المصمم المعماري في تفهم هذه العناصر ومن ثم اختيار الحلول التصميمية المناسبة لها.

إن التصميم المعماري الذي يلائم المناخ المحيط ويساعد في تخفيض استهلاك الطاقة له أيضاً العديد من الفوائد، ومن أهمها أن المبنى الذي يوفر الراحة الحرارية للإنسان بالوسائل الطبيعية يفوق مثيله الذي يعتمد على التكييف الميكانيكي، من منازير الصحة الفسيولوجية والنفسية إذ يربط الإنسان بالمناخ الخارجي ويوفر له

الراحة النفسية التي قد يفقدها بانغلاقه داخل مبنى معزول تماما عن الطبيعة الخارجية ويعتمد اعتمادا كليا على الإنارة الاصطناعية والتكييف الميكانيكي. وهناك العديد من الحلول التصميمية التي لها مفعول كبير في تحسين الأداء الحراري للمبنى والتي سوف نتعرض لها في هذا الكتاب.

المؤلف

المحتويات

الصفحة

شكر وتقدير	هـ
تمهيد	ز
المقدمة	ط
قائمة الأشكال	ف
قائمة الجداول	ث

الفصل الأول : المناخ والتصميم

١ (١,١) عناصر المناخ الرئيسي	١
٢ (١,١,١) الإشعاع	٢
٦ (١,١,٢) درجة حرارة الهواء	٦
٦ (١,١,٣) حركة الرياح	٦
٨ (١,١,٤) الرطوبة	٨
٩ (١,٢) الخصائص العامة للأقاليم المناخية في العالم	٩
١٠ (١,٢,١) المناخ الاستوائي	١٠
١١ (١,٢,٢) المناخ المداري	١١
١٤ (١,٢,٣) المناخ المعتدل	١٤
١٥ (١,٢,٤) المناخ القطبي	١٥
١٦ (١,٣) الخصائص العامة للأقاليم المناخية في الوطن العربي	١٦
١٨ (١,٣,١) المناخ الحار الجاف الصحراوي	١٨
١٩ (١,٣,٢) المناخ الحار الرطب الاستوائي	١٩
٢٠ (١,٣,٣) المناخ الحار الرطب المداري الساحلي	٢٠

الصفحة

٢٠	(١,٣,٤) المناخ المداري للمرتفعات
٢١	(١,٣,٥) المناخ المعتدل الدافئ
٢١	(١,٤) التصميم المناخي
٢٦	(١,٤,١) التصميم المناخي للمناطق الباردة
٢٨	(١,٤,٢) التصميم المناخي للمناطق الحارة
٢٩	(١,٤,٣) السعة الحرارية لمواد البناء
٣٠	(١,٤,٤) التهوية الطبيعية
٣٢	(١,٤,٥) التبريد بواسطة التبخر
٣٢	(١,٤,٦) التصميم المناخي لمدينة الرياض

الفصل الثاني: المناخ والإنسان

٣٩	(٢,١) الاتزان الحراري
٤٠	(٢,٢) تنظيم الحرارة
٤٣	(٢,٢,١) التبادل الحراري بواسطة الإشعاع
٤٤	(٢,٢,٢) التبادل الحراري بواسطة الحمل
٤٥	(٢,٢,٣) فقدان الحرارة بواسطة التبخر
٤٧	(٢,٣) اختلال الاتزان الحراري
٤٩	(٢,٤) إحساس الإنسان بالحرارة
٥٠	(٢,٤,١) معيار درجة الحرارة الفعالة
٥٢	(٢,٤,٢) معيار درجة الحرارة الفعالة المصححة
٥٢	(٢,٤,٣) محصلة درجة الحرارة
٥٥	(٢,٤,٤) درجة الحرارة الفعالة القياسية
٥٧	(٢,٤,٥) معيار درجة الحرارة المتكافئة
٥٨	(٢,٥) الراحة الحرارية
٥٨	(٢,٥,١) منطقة الراحة الحرارية
٦١	(٢,٥,٢) معادلة الراحة الحرارية

الصفحة

الفصل الثالث: الخصائص الحرارية لمواد البناء

٧٢	(٣, ١) التوصيل الحراري
٨٠	(٣, ٢) الإشعاع
٨٠	(٣, ٢, ١) المواد غير المنفذة للإشعاع
٨٥	(٣, ٢, ٢) المواد المنفذة للإشعاع
٩٠	(٣, ٣) الحمل الحراري
٩٠	(٣, ٣, ١) مسببات الحمل الحراري
٩٣	(٣, ٣, ٢) انتقال الحرارة عبر الفراغات الهوائية
٩٦	(٣, ٤) السعة الحرارية
٩٩	(٣, ٥) العزل الحراري
١٠٣	(٣, ٥, ١) خصائص المواد العازلة
١٠٤	(٣, ٥, ٢) موقع العازل الحراري
١٠٨	(٣, ٥, ٣) معامل انتقال الحرارة الكلي
١٠٩	(٣, ٥, ٤) حساب معامل انتقال الحرارة الكلي

الفصل الرابع: التظليل وكاسرات الشمس

١١٧	(٤, ١) حركة الشمس
١١٩	(٤, ٢) كاسرات الشمس
١٣٧	(٤, ٢, ١) تحديد زوايا الشمس
١٤٩	(٤, ٢, ٢) تحديد الفترة الحارة
١٥٦	(٤, ٢, ٣) متطلبات التظليل لمدينة الرياض

الفصل الخامس: التهوية الطبيعية

١٦٧	(٥, ١) فوائد التهوية الطبيعية
١٦٨	(٥, ١, ١) التهوية الطبيعية من أجل صحة الإنسان
١٧١	(٥, ١, ٢) التهوية الطبيعية من أجل الراحة الحرارية
١٧٤	(٥, ٢) حركة الهواء

الصفحة

(٥,٢,١) حركة الهواء داخل المباني نتيجة لقوة الدفع	١٧٥
الحاراري	١٧٥
(٥,٢,٢) حركة الهواء داخل المباني نتيجة لقوة الدفع	١٧٨
من تيار الهواء الخارجي	١٧٨
(٥,٣) العناصر التصميمية التي تساعد على التحكم في التهوية	١٨١
الطبيعية	١٨١
(٥,٣,١) توجيه الفتحات وعلاقته باتجاه تيار الهواء	١٨٤
الخارجي	١٨٤
(٥,٣,٢) مساحة النافذة	١٨٦
(٥,٣,٣) التهوية العرضية	١٨٨
(٥,٣,٤) التهوية العرضية المُستَحَثَّة	١٩٠
(٥,٣,٥) الموقع الرأسي للنافذة	١٩١
(٥,٣,٦) تصميم وطريقة فتح النافذة	١٩٣
(٥,٣,٧) تصميم الفواصل الداخلية	١٩٥
(٥,٣,٨) الشبك السلكي للحماية من الحشرات	١٩٥
(٥,٣,٩) التخطيط العام للمواقع وعلاقته بالتهوية الطبيعية	١٩٧
(٥,٤) الملاقف الهوائية	٢٠١
(٥,٥) وحدات التهوية الطبيعية	٢١٤
الملاحق	٢١٧
اختبار أجهزة التبريد والتدفئة	٢١٧
المراجع	٢٢٣
ثبت المصطلحات	٢٢٧
عربي - إنجليزي	٢٢٧
إنجليزي - عربي	٢٣٢
كشاف الموضوعات	٢٣٩

قائمة الأشكال

رقم الشكل	العنوان	الصفحة
(١, ١)	الإشعاع الشمسي نحو الأرض	٤
(١, ٢)	تقسيمات الإشعاع الشمسي	٥
(١, ٣)	تباين حركة الرياح نتيجة لتباين درجات الحرارة	
٧	بين الماء واليابس	
(١, ٤)	التقسيمات المناخية للوطن العربي	١٧
(١, ٥)	المخطط البياني الحيوي المناخي	٢٢
(١, ٦)	تقسيمات بياني خواص الهواء	٢٥
(١, ٧)	التهوية الطبيعية في المناطق الإستوائية	٣١
(١, ٨)	بياني خواص الهواء المدينة الرياض	٣٥
(٢, ١)	درجة حرارة الأنسجة الداخلية لجسم الإنسان وعلاقتها	
٤١	بدرجة حرارة المناخ المحيط	
(٢, ٢)	التبادل الحراري بين الإنسان والمناخ المحيط	٤٢
(٢, ٣)	بياني درجة الحرارة الفعالة	٥١
(٢, ٤)	بياني درجة الحرارة المصححة	٥٣
(٢, ٥)	بياني محصلة درجة الحرارة	٥٤
(٢, ٦)	بياني درجة الحرارة الفعالة القياسية	٥٦

رقم الشكل	العنوان	الصفحة
(٣، ١)	كيفية تدفق الحرارة عبر الحائط	٧٤
(٣، ٢)	التدرج الحراري	٧٨
(٣، ٣)	تحديد درجة الحرارة التي يحدث عندها التكاثف	٧٩
(٣، ٤)	الأشعة الساقطة على الأسطح غير الشفافة	٨٤
(٣، ٥)	نفاذ الأشعة خلال المسطحات الزجاجية	٨٦
(٣، ٦)	العلاقة بين نفاذ الأشعة وزوايا سقوط أشعة الشمس	٨٨
(٣، ٧)	تيار الحمل الطبيعي	٩٢
(٣، ٨)	تدفق الحرارة خلال الفراغ الهوائي الأفقي المغلق	٩٦
(٣، ٩)	مفعول السعة الحرارية على تدفق الحرارة	٩٩
(٣، ١٠)	مفعول العزل الحراري على درجة حرارة الهواء	١٠٥
(٣، ١١)	حماية العازل الحراري	١٠٦
(٣، ١٢)	العلاقة بين تكلفة العزل الحراري وتكلفة التكيف	١٠٩
(٣، ١٣)	قطاع لحائط يحتوي على فراغ هوائي	١١٠
(٤، ١)	حركة الأرض حول الشمس وحول محورها	١١٨
(٤، ٢)	التظليل بواسطة الأشجار وتصميم المبنى	١٢١
(٤، ٣)	مفعول الزجاج العاكس على المباني المجاورة	١٢٣
(٤، ٤)	كاسرات الشمس الداخلية	١٢٣
(٤، ٥)	توجيه الفتحات على الواجهتين الشرقية والغربية	١٣١
(٤، ٦)	تصميم الكاسرات الأفقية والعمودية	١٣٢
(٤، ٧)	أمثلة من الكاسرات المختلفة	١٣٣
(٤، ٧ب)	أمثلة من الكاسرات المختلفة	١٣٤
(٤، ٨)	أداء الكاسرات الأفقية والعمودية والمزدوجة	١٣٦

رقم الشكل	العنوان	الصفحة
(٤, ٩)	زوايا الشمس العمودية والأفقية	١٣٨
(٤, ١٠)	زوايا الشمس وزوايا الظلال الأفقية والعمودية	١٤٠
(٤, ١١)	طريقة رسم الأقواس التي تمثل مسار الشمس	١٤٢
(٤, ١٢)	طريقة رسم الأقواس التي تمثل الزمن	١٤٤
(٤, ١٣)	طريقة رسم منقلة الظلال	١٤٦
(٤, ١٤)	منقلة الظلال	١٤٧
(٤, ١٥)	تحديد زوايا الشمس	١٤٨
(٤, ١٦)	الخطوط الكنتورية لدرجات الحرارة المتساوية لمدينة الرياض .	١٥١
(٤, ١٧)	بياني حساب درجات الحرارة خلال ساعات اليوم	١٥١
(٤, ١٨)	متطلبات التظليل	١٥٣
(٤, ١٩)	تحديد الفترات الحارة، والباردة، والمعتدلة لمدينة الرياض ...	١٥٥
(٤, ٢٠)	التباين في متطلبات التظليل	١٦١
(٤, ٢١)	تظليل الفتحات على الواجهة الجنوبية بواسطة	
الكاسرة الأفقية	١٦٣	
(٤, ٢٢)	تظليل الفتحات على الواجهة الجنوبية بواسطة	
الكاسرات المزدوجة	١٦٤	
(٤, ٢٣)	تظليل الفتحات على الواجهة الشمالية	١٦٥
(٥, ١)	متطلبات التهوية الطبيعية في المباني	١٦٨
(٥, ٢)	التهوية الطبيعية أثناء الليل	١٧٤
(٥, ٣)	حركة الهواء في حالة وجود نافذتين في نفس الواجهة ...	١٧٧
(٥, ٤)	توزيع ضغط الهواء حول المبنى	١٨٠
(٥, ٥)	مفعول الأشجار على حركة الهواء وتسربه إلى الداخل ...	١٨٣

رقم الشكل	العنوان	الصفحة
(٥, ٦)	حركة الهواء عندما يكون مخرج الهواء خارج الخط	
١٨٥	الأساسي للمدخل	
(٥, ٧)	مفعول زاوية دخول الهواء على سرعته وتوزيعه داخل	
١٨٦	حجرة لها نافذة واحدة	
١٨٩	التهوية المعترضة	
(٥, ٩)	زيادة سرعة الهواء بواسطة الأجزاء الباردة من النافذة	
١٩٠	الموقع الرأسي للنافذة وأثره على حركة الهواء	
(٥, ١٠)	أثر اتجاه وموقع دخول وخروج الهواء	
١٩٢	النظم الرئيسية لفتح وتثبيت النافذة وأثرها على توزيع	
(٥, ١٢)	الهواء	
١٩٤	النمط العام لحركة الهواء نتيجة للفواصل الداخلية	
(٥, ١٣)	التباين في سرعة الهواء نتيجة للفواصل الداخلية	
١٩٦	تدرج سرعة الهواء نتيجة للتباين في طبوغرافية سطح	
(٥, ١٤)	الأرض	
١٩٨	عرض المبنى وأثره على حركة الرياح	
(٥, ١٦)	مفعول موقع الأشجار على حركة الهواء	
٢٠٠	الملقف الهوائي الذي أستخدم في المناطق الحارة الجافة	
(٥, ١٨)	الملقف الهوائي الذي أستخدم في مصر	
٢٠٣	الملقف الهوائي الذي أستخدم في العراق	
(٥, ١٩)	الملقف الهوائي المتعدد الاتجاهات في إيران	
٢٠٤	(٢٥, ٢١)	
٢٠٦	الملقف الهوائي المتعدد الاتجاهات في إيران ودولة	
(٥, ٢٠)	الإمارات العربية المتحدة	
٢٠٧		
٢٠٨		

رقم الشكل	العنوان	الصفحة
(٥, ٢٢)	الملقف الهوائي الذي كان يستعمل لتبريد المياه	٢٠٩
(٥, ٢٣)	الملقف الهوائي الذي كان يستعمل في أفغانستان	٢١٠
(٥, ٢٤)	الملقف الهوائي الذي كان يستعمل لتهوية المنازل في	
	الباكستان	٢١١
(٥, ٢٥)	الملقف الهوائي الذي أُستعمل لتهوية فيلا حديثة	
	بالمملكة العربية السعودية	٢١٢
(٥, ٢٦)	الملقف الهوائي لمبنى النيل للاحتفالات	
	بالاقصر- مصر	٢١٣
(٥, ٢٧)	وحدات التهوية الطبيعية التي انتشر استعمالها في المباني	
	الصناعية المعاصرة	٢١٥

قائمة الجداول

رقم الجدول	المحتوى	الصفحة
(١، ١)	معدلات الحرارة والرطوبة لمدينة الرياض	٣٦
(٢، ١)	منطقة الراحة الحرارية لبعض الاقطار	٦٠
(٢، ٢)	معدل إنتاج الحرارة نتيجة للتفاعل الحيوي	٦٦
(٢، ٣)	معامل العزل الحراري ونسبة التغطية للملابس	٦٩
(٣، ١)	معامل الامتصاص والانبعاث لبعض المواد والألوان	٨٢
(٣، ٢)	الخصائص الفيزيائية للزجاج العادي والملون والعاكس	٩٤
(٣، ٣)	معامل التوصيل الحراري للفراغات الهوائية	٩٦
(٣، ٤)	الموصلية الحرارية والكثافة والسعة الحرارية	٩٨
(٣، ٥)	حساب معامل انتقال الحرارة الكلي للباحث المحجوف	١١٢
(٣، ٦)	معامل مقاومة السطح الخارجي	١١٣
(٣، ٧)	معامل مقاومة السطح الداخلي	١١٣
(٣، ٨)	نماذج من المقاومة الحرارية للفراغات الهوائية	١١٥
(٣، ٩)	الخصائص الحرارية الفيزيائية لبعض مواد البناء	١١٦
(٣، ١٠)	معامل انتقال الحرارة الكلي للمباني السكنية	١١٦
(٤، ١)	كاسرات الشمس الثابتة والمتحركة وخصائصها	١٢٤
(٤، ٢)	الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية	١٥٢
(٤، ٣)	نصف القطر ويُعد مركز الأقواس	١٥٧
(٤، ٤)	بيانات الأقواس التي تمثل الزمن	١٥٧

رقم الجدول	العنوان	الصفحة
(٤.٥)	بيانات الدوائر التي تمثل الزوايا العمودية	١٥٨
(٥.١)	معدلات التهوية الطبيعية للفراغات الداخلية	١٧٠
(٥.٢)	مفعول زيادة مساحة النافذة على سرعة الهواء	١٨٧
(٥.٣)	مفعول تغيير مساحة نافذتي دخول وخروج الهواء	
	على متوسط سرعته	١٨٧
(٥.٤)	مفعول التهوية العرضية على سرعة الهواء الداخلي	١٨٩

المناخ والتصميم

- عناصر المناخ الرئيسية ● الخصائص العامة للأقاليم المناخية
- في العالم ● الخصائص العامة للأقاليم المناخية في العالم
- العربي ● التصميم المناخي

(١, ١) عناصر المناخ الرئيسية

يمثل علم المناخ climatology أحد أفرع الجغرافيا الطبيعية physical geography والتي تعنى بالظواهر البيئية التي ليس للإنسان دخل في تكوينها ونشأتها. تُعتبر أشعة الشمس من العناصر الأساسية في تكوين المناخ، ونتيجة لسقوط أشعة الشمس على المسطحات المائية واليابسة للأرض عبر الغلاف الجوي يحدث تنوع كبير في درجة حرارة الهواء الملامس للأجزاء المختلفة من سطح الأرض، ومن ثم يكون هنالك اختلاف كبير في مقدار الضغط الجوي واتجاه الرياح وسرعتها ودرجة حرارتها وكمية الأمطار الساقطة من جزء إلى آخر على سطح الأرض، ونتيجة لتنوع العناصر المناخية وتباينها climatic elements يتنوع المناخ من مكان لآخر.

بالإضافة إلى دوره الأساسي في تكوين التربة الأرضية، يؤثر المناخ على نمو النباتات وحياة الحيوان بشكل مباشر. ومن أهم هذه المؤثرات تلك التي تتعلق ببيئة الإنسان ونشاطاته اليومية. لذلك كان ولا يزال التحدي الأكبر بالنسبة للإنسان منذ بدء الخليقة محاولة التكيف مع المناخ الطبيعي. وقد عمد الإنسان منذ وجوده على الأرض إلى عمل مأوى أو ملجأ خاص به يحميه من الحيوانات المفترسة ويساعده في التغلب على تقلبات المناخ المختلفة في محاولة منه لخلق البيئة الصالحة. ويجرور الزمن وتباين الحضارات ومع التقدم العلمي والتقني استطاع

الإنسان أن يفهم الظواهر الطبيعية والبيئية وصفاتها الجغرافية والمناخية، ومن ثم استطاع تطوير مسكنه بما يوفر له المناخ الداخلي الملائم. ويتطور الحياة ومتطلباتها امتد اهتمام الإنسان من المسكن ليشمل عناصر أخرى كالمصانع والمستشفيات والمباني التعليمية. الخ. ومن أجل الوصول إلى الحلول الإيجابية في التصميم المعماري بما يلائم المناخ، لابد من دراسة العناصر المناخية التي تتفاعل مع الإنسان وتؤثر على إحساسه بالحرارة، وتتفاعل مع المبنى وتؤثر على أدائه الحراري. ومن أهم العوامل المناخية التي تؤثر على الإنسان وتتفاعل مع المبنى:

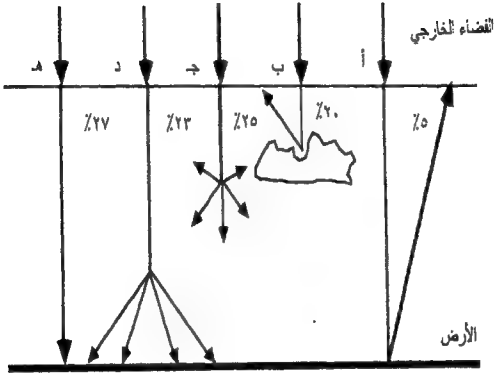
- ١ - الإشعاع radiation .
- ٢ - درجة حرارة الهواء air temperature .
- ٣ - حركة الرياح air movement .
- ٤ - الرطوبة humidity .

(١، ١، ١) الإشعاع Radiation

إن أشعة الشمس تمثل أهم المصادر الرئيسية المباشرة وغير المباشرة لكل أنواع الطاقة الطبيعية على الأرض وهناك مستويات مختلفة من الطاقة ترسلها الشمس بصورة مستمرة إلى سطح الأرض. ونظراً لأن الكرة الأرضية محاطة بغلاف جوي يتكون من طبقات عديدة من الأكسجين والنيتروجين والهيدروجين وأنواع أخرى من المواد، فإنها تقوم بامتصاص بعض أنواع الطاقة المنبعثة من الشمس وتمنعها من الوصول إلى الأرض. تُعتبر الشمس المصدر الرئيسي لحرارة الغلاف الجوي، ويطلق على أشعة الشمس الصادرة من الشمس والمتجهة نحو الأرض اسم الإشعاع الشمسي solar radiation، وعندما تصل هذه الأشعة إلى سطح الأرض ينعكس جزء منها مرة ثانية إلى الطبقات السفلى من الغلاف الجوي ويُطلق عليها في هذه الحالة اسم الإشعاع الأرضي terrestrial radiation. ويكون الإشعاع المنعكس في شكل أشعة ذات موجات طويلة longwave radiation وتنتقل الحرارة أيضاً بواسطة تيارات الحمل الحرارية convection currents وعمليات التوصيل الحراري thermal conduction بواسطة المواد الموجودة في الغلاف الجوي كذرات الماء التي تساعد على امتصاص الحرارة. بالإضافة إلى هذه العوامل هنالك

الأثر الواضح لعمليات التبخر evaporation والتكاثف condensation التي تؤدي إلى اختلاف درجة حرارة الهواء من مكان لآخر .

يتنقل الإشعاع الحراري بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية من الشمس إلى سطح الأرض، ولكن لا يصل كل الإشعاع إلى الأرض بنفس قوته الأصلية، حيث إن ٣٢٪ من الإشعاع الشمسي ينعكس بواسطة السحب ويتشر إلى أعلى في الفضاء الخارجي عن طريق الجزيئات الدقيقة المعلقة في الهواء، ونحو ٢٪ من أشعة الشمس هذه تنعكس ثانية إلى الفضاء عند سقوطها على سطح الأرض. وهكذا تصل جملة هذه الأشعة المنعكسة إلى الفضاء الخارجي عن طريق السحب وسطح الأرض نحو ٣٤٪ من جملة أشعة الشمس. تختشر أشعة الشمس طبقات الجو المحيطة بالأرض ويتج عنها طاقة حرارية تختلف في شدتها باختلاف المناطق والأقاليم الجغرافية. ففي المناطق التي تكسوها الغيوم الكثيفة تفقد أشعة الشمس جزءاً من طاقتها أثناء مرورها خلال طبقات الغيوم. أما إذا كانت السماء صافية، فإن أشعة الشمس تصل إلى سطح الأرض دون أن تفقد الكثير من طاقتها. إن قوة أشعة الشمس والطاقة الحرارية الناجمة عنها ترتبط بطول ساعات النهار ودرجة ميلها. إن أشعة الشمس المائلة تكون بطبيعة الحال أطول من الأشعة العمودية أثناء نفاذها خلال طبقات الجو المختلفة حتى وصولها إلى سطح الأرض، وهذا يتسبب في أنها تفقد طاقة حرارية أكثر من الأشعة العمودية. تبلغ شدة الطاقة الحرارية من أشعة الشمس ذروتها بالمنطقة الاستوائية حيث تسقط عمودية أو شبه عمودية، وتقل كلما ابتعدنا عن المنطقة الاستوائية بسبب كبر زاوية السقوط، إلى أن تبلغ حدها الأدنى بالقطبين الشمالي والجنوبي. وحين تصل أشعة الشمس إلى سطح الأرض، تمتص الأرض جزءاً من هذه الأشعة بينما تنعكس الجزء الباقي بعيداً عنها (شكل رقم ١، ١). تعتمد الكمية التي يمتصها سطح الأرض من هذه الأشعة على الطبوغرافيا والغطاء الحضري، وهذا بدوره يؤدي إلى الاختلافات المناخية الواضحة ويتضح بصفة خاصة في درجات الحرارة التي تختلف في المنطقة الواحدة باختلاف التضاريس وعلاقتها بمستوى سطح البحر. فكلما زاد ارتفاع الأرض عن مستوى سطح البحر انخفضت درجة الحرارة.



- (أ) نسبة الأشعة المنعكسة من سطح الأرض.
- (ب) نسبة الأشعة المنعكسة من السحب.
- (ج) نسبة الأشعة التي يمتصها الغلاف الجوي.
- (د) نسبة الأشعة المنتشرة على سطح الأرض.
- (هـ) نسبة الأشعة الساقطة مباشرة على سطح الأرض.

شكل رقم (١، ١). الإشعاع الشمسي نحو الأرض.

المصدر: Koenigsberger et al. (1973), p. 8.

وينقسم الإشعاع إلى ثلاثة أنواع (الشكل رقم ١، ٢) هي (Critchfield, 1966)

- (أ) الأشعة الحرارية .
- (ب) الأشعة الضوئية .
- (ج) الأشعة البنفسجية وفوق البنفسجية .

(أ) الأشعة الحرارية

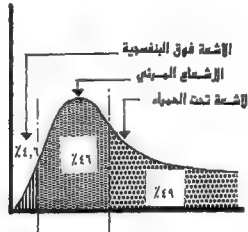
الأشعة الحرارية هي التي تعرف كذلك بالأشعة تحت الحمراء infra-red rays وهي أشعة ضمن الأشعة غير المرئية للطيف الكهرومغناطيسي electro-magnetic spectrum وتنتمي الأشعة الحرارية إلى مجموعة الأشعة ذات الموجات الطويلة، حيث يتراوح طول موجتها من ٠,٧٥ إلى ٤,٠ ميكرونات (والميكرون هو وحدة قياس الموجات المتناهية الصغر 10^{-6} مم)، وتقدر نسبتها بنحو ٤٩٪ من جملة أشعة الشمس.

(ب) الأشعة الضوئية Sunlight rays

الأشعة الضوئية هي الأشعة المرئية والتي يتراوح طول موجتها من ٠,٤ إلى ٠,٧٤ ميكرون وتقدر نسبتها بنحو ٤٦٪ من جملة أشعة الشمس.

(ج) الأشعة البنفسجية وفوق البنفسجية Violet and ultra-violet rays

الأشعة البنفسجية وفوق البنفسجية تعرف أحيانا باسم الأشعة الحيوية ولا تزيد نسبتها على ٤,٦٪ من جملة أشعة الشمس، ويتراوح طول موجاتها من ٠,١٧ إلى ٠,٤ ميكرون.



شكل رقم (١, ٢). تقسيمات الإشعاع الشمسي.

المصدر: Crowther (1977), p. 43.

(١,١,٢) درجة حرارة الهواء Air temperature

تتسبب الأشعة الساقطة على سطح الأرض في ارتفاع درجة حرارة القشرة الأرضية، ومن ثم ترتفع درجة حرارة الهواء الملاصق لسطح الأرض فتقل كثافته نتيجة للتمدد فيرتفع إلى أعلى ليحل محله هواء أقل حرارة. تقاس درجة الحرارة باستخدام أنواع متعددة من المقاييس أو الميزان الحراري منها ما يعرف باسم الميزان البسيط أو الجاف والميزان المزوج ذو النهاية العظمى والنهاية الصغرى.

وقد تُقرأ درجات الحرارة بأي من النظامين المتوي أو الفهرنهيستي centigrade or fahrenheit. لسهولة قراءة الأحوال المناخية تقوم الجهات العاملة في مجال الأرصاد برصد وتسجيل القراءات المختلفة لعناصر المناخ وأهمها درجة حرارة الهواء، وسرعة الهواء، والرطوبة النسبية والضغط الجوي. ومن أهم هذه القراءات أو البيانات المناخية:

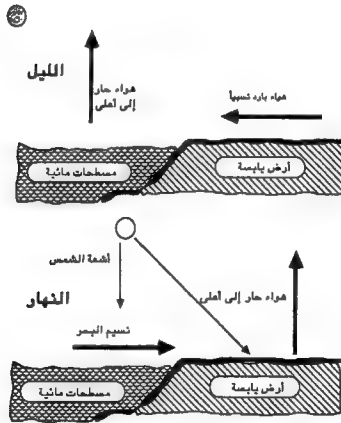
- ١ - المعدل الشهري لدرجة الحرارة monthly mean temperature.
- ٢ - المعدل الشهري لدرجة الحرارة القصوى monthly mean maximum temperature.
- ٣ - المعدل الشهري لدرجة الحرارة الدنيا monthly mean minimum temperature.
- ٤ - درجات الحرارة القصوى والدنيا maximum and minimum temperatures.

ولسهولة استيعاب وفهم هذه البيانات أو القراءات المناخية وغيرها من القياسات يتحتم على المهندس المعماري أن يقوم بإظهارها في شكل رسومات أو منحنيات بيانية.

(١,١,٣) حركة الرياح Wind movement

إن الرياح بأنواعها المختلفة تُعتبر أحد العناصر المؤثرة في تشكيل المناخ في مختلف المناطق. وحركة الرياح تأتي أساسًا نتيجة للفرق بين الضغط الجوي العالي والضغط الجوي المنخفض فيكون مسار الرياح من منطقة الضغط الجوي

العالي إلى منطقة الضغط الجوي المنخفض بصفة عامة. كذلك فإن دوران الأرض حول محورها وحول الشمس، وتعرض نصفي الكرة الأرضية الشمالي والجنوبي على التوالي أثناء السنة لأشعة الشمس المباشرة، يؤديان إلى تغيير مسار حركة الرياح. وقد يحدث بعض التغيير في اتجاه وسرعة الرياح نتيجة للاختلافات الجغرافية في تركيب سطح الأرض واليابسة والمسطحات المائية والتضاريس (شكل رقم ١،٣).



أثناء النهار ترتفع درجة حرارة الهواء الملاصقة لسطح اليابسة فتنتقل إلى أعلى فتقلل من ضغطها ورياح باردة نسبيًا تهب من اتجاه البحار.

أثناء الليل ترتفع درجة حرارة الهواء الذي تلامس المسطحات المائية فتنتقل إلى أعلى فتقلل من ضغطها ورياح باردة نسبيًا تهب من اتجاه اليابسة.

شكل رقم (١،٣). تباين حركة الرياح نتيجة لتباين درجات الحرارة.

١.١.٤) الرطوبة Humidity

تعتبر الرطوبة من العناصر المناخية المهمة التي لها أثرها في تكوين المناخ ومن ثم لها دورها المهم في تحديد إحساس الإنسان بالمناخ المحيط. يُعتبر بخار الماء في الجو العامل الرئيسي لحدوث مظاهر عمليات التكاثف، وفي اختلاف نسبة الرطوبة في الجو وفي تكوين السحب، والتساقط والرؤية. كما يؤثر بخار الماء وتكوين السحب في تنظيم الإشعاع الشمسي وحفظه في الطبقات السفلى من الغلاف الغازي بالقرب من سطح الأرض. يمتص بخار الماء بعض الإشعاع الشمسي الساقط عليه ثم يقوم بتوزيعه مرة ثانية إلى الهواء بعد حدوث عمليات التكاثف. وخلال عملية التبخر يصبح بخار الماء عاملاً وسيطاً في انتشار الحرارة الكامنة latent heat في الهواء، ومن ثم يلعب بخار الماء دوره في عمليات التبادل الحراري heat exchange. يهتم علماء المناخ والأرصاد الجوية بقياس كمية بخار الماء الموجود في الهواء وحساب الضغط الناتج عنه وذلك بعدة طرق منها:

- ١ - ضغط بخار الماء vapour pressure.
- ٢ - الرطوبة النوعية specific humidity.
- ٣ - الرطوبة المطلقة absolute humidity.
- ٤ - الرطوبة النسبية relative humidity.

١ - ضغط بخار الماء

يُدل ضغط بخار الماء على الضغط الناتج عن بخار الماء في الهواء، ويتم التعبير عنه بنفس مقياس الضغط الجوي، أي المليبار. عندما يحتوي الهواء على كل بخار الماء الذي يمكن له أن يحمله (الرطوبة النسبية = ١٠٠٪) عند درجة حرارة معينة، وعند ضغط معين، يقال إن الهواء وصل إلى مرحلة التشبع ببخار الماء saturated، وإن الضغط الفعلي لبخار الماء يعادل ضغط بخار الماء في حالة التشبع. وفي درجة الحرارة نفسها، ويقال إن الهواء وصل إلى درجة حرارة نقطة الندى dew-point (Trewartha, 1954).

٢ - الرطوبة النوعية

هي النسبة بين وزن بخار الماء الممثل فعلاً في الهواء إلى وحدة معينة من

الهواء، أي أن:

$$\frac{\text{وزن بخار الماء}}{\text{الضغط الكلي للهواء}} = \frac{\text{الضغط الكلي للهواء}}{\text{الضغط الكلي للهواء}} = \frac{\text{الضغط الكلي للهواء}}{\text{الضغط الكلي للهواء}}$$

 أي بمعنى أن كل كيلوجرام من الهواء به ١٢ جراماً من بخار الماء، فإن رطوبته النوعية تكون ١٢ جراماً لكل كيلوجرام (أبوالعينين، ١٩٨٥م).

٣- الرطوبة المطلقة
 الرطوبة المطلقة هي عبارة عن مقدار وزن بخار الماء الموجود بكل وحدة حجمية معينة من الهواء (أي جرام لكل متر مكعب) (أبوالعينين، ١٩٨٥م).

٤- الرطوبة النسبية
 الرطوبة النسبية هي النسبة المئوية بين مقدار بخار الماء الموجود فعلاً في وحدة حجم معينة من الهواء، وبين مقدار ما يمكن أن يتحملة هذا الحجم من الهواء ليصل إلى درجة التشبع في نفس درجة الحرارة والضغط. وبمعنى آخر هي عبارة عن النسبة المئوية بين الرطوبة المطلقة أو الكلية للهواء والرطوبة المطلقة لنفس حجم وحدة هذا الهواء عندما يصل إلى درجة التشبع دون أي تغيير في درجة حرارته ومقدار ضغطه (أبوالعينين، ١٩٨٥م).

(١، ٢) الخصائص العامة للأقاليم المناخية في العالم
 إن من واجب المهندس المعماري أن يلم ببعض المعلومات العامة عن المناخات المختلفة وأقسامها وخصائصها ومواقعها الجغرافية دون الخوض في التفاصيل الدقيقة. ولا بد من التعرف على الأقاليم المناخية الرئيسية الممثلة فعلاً على سطح الأرض. إن التفاعل بين أشعة الشمس المباشرة مع الغلاف الجوي المحيط بالكرة الأرضية وتنوع التضاريس وتوزيع اليابسة والمسطحات المائية يؤدي إلى وجود العديد من الاختلافات المناخية. ولكن هذا لا يمنع من وجود بعض المناطق التي تتشابه في مناخها. ولا بد من الإلمام الكامل بالتقسيمات المناخية المختلفة التي يكون انعكاسها واضحاً على التصميم المعماري. إن الحدود الفاصلة بين المناطق المناخية المختلفة لا يمكن تحديدها بالدقة الكاملة وذلك لأن هذه التقسيمات تتداخل

مع بعضها البعض . استنادا على الاختلافات في معدلات العناصر المناخية الرئيسية يمكن تقسيم الأقاليم المناخية إلى أربعة أقسام رئيسية تتبع كل منها أقسام فرعية (أبو العينين ، ١٩٨٥ و Trewartha, 1954).

- ١ - المناخ الاستوائي .
- ٢ - المناخ المداري .
 - (أ) المناخ الحار الجاف الصحراوي .
 - (ب) المناخ الحار الرطب .
 - (ج) المناخ المركب .
 - (د) المناخ المداري للمرتفعات .
- ٣ - المناخ المعتدل .
 - (أ) مناخ البحر الأبيض المتوسط .
 - (ب) المناخ المعتدل البحري .
 - (ج) المناخ القاري .
 - (د) مناخ الحشائش المعتدلة .
- ٤ - المناخ القطبي .
 - (أ) المناخ البارد أو شبه القطبي .
 - (ب) المناخ القطبي .
 - (ج) مناخ الغطاءات الثلجية .

(١، ٢، ١) المناخ الاستوائي

المناخ المداري الممطر والذي يُعرف أحيانا بالمنساخ الاستوائي هو المناخ الذي يتسم بدرجات الحرارة العالية (Trewartha, 1954). إن التقسيمات الخاصة بالمنساخ الاستوائي اعتمدت أساسًا على درجة حرارة الهواء ونسبة الرطوبة وكمية الأمطار والتي تمثل العوامل الرئيسية التي تؤثر على الراحة الحرارية للإنسان (Atkinson, 1953) والعامل الأساسي هنا هو مقدار المعدلات القصوى لدرجات الحرارة والرطوبة والتي قد تسبب عدم الرضا بالمنساخ الحراري . والمنساخ الاستوائي الممطر يوجد حول خط الاستواء بين خطي عرض ١٥

شمالاً ١٥° جنوباً. ومن المدن التي تتميز بهذا المناخ سنغافورة، جاكارتا، لاغوس، دار السلام، ممبا، وكولمبو. والاختلافات المناخية فيه محدودة جداً خلال فترة العام ويتراوح المعدل الشهري لدرجات الحرارة القصوى monthly mean maximum temperature خلال اليوم من ٢٧° إلى ٣٢° م. أما أثناء الليل فيتراوح المعدل الشهري لدرجات الحرارة الدنيا monthly mean minimum temperature من ٢١° إلى ٢٧° م. وعادةً ما يكون الفرق بين أعلى وأدنى درجة حرارة خلال العام وخلال اليوم قليلة نسبياً. أما معدلات الرطوبة النسبية الشهرية فتتبع إلى الارتفاع حيث تتراوح معدلاتها من ٥٥٪ إلى ١٠٠٪ ومتوسطها في حدود ٧٥٪، وتكون السماء ملبدة بالغيوم طيلة أيام السنة. أما أشعة الشمس فينعكس جزء منها ويتشتت بواسطة السحب، ولكن تظل الأشعة التي تصل إلى سطح الأرض شديدة الحرارة. تكون الرياح في الغالب هادئة ماعداً وقت هطول الأمطار والزوايا العريضة، حيث تزداد سرعة الرياح بشكل ملحوظ وقد تصل إلى ٣٠ متراً في الثانية وهي في الغالب تكون في اتجاه واحد أو اتجاهين على الأكثر. وهذه المناطق تتميز بكثرة الخضرة نتيجة لهطول الأمطار الكثيفة خاصة خلال فصل الصيف.

(٢، ١) المناخ المداري Tropical climate

ينقسم المناخ المداري إلى أربعة أقسام رئيسية، هي (Deiter, 1983) :

- (أ) المناخ الحار الجاف الصحراوي.
- (ب) المناخ الحار الرطب.
- (ج) المناخ المربك.
- (د) المناخ المداري للمرتفعات.

(أ) المناخ الحار الجاف الصحراوي

يوجد المناخ الحار الجاف في حزامين أحدهما شمال خط الاستواء والآخر جنوب خط الاستواء بين خطي عرض ١٥° و ٣٠°. يتصف المناخ الحار الجاف بفصلين رئيسيين هما الفصل الحار والفصل المعتدل أو الأقل حرارة.

المعدل الشهري لدرجات الحرارة		
القيصري	الدنيا	
٤٣ - ٤٩	٢٤ - ٣٠	النفصل أخسار
٢٧ - ٣٢	١٠ - ١٨	النفصل المعتدل

أما معدلات الرطوبة النسبية فتتراوح من ١٠٪ إلى ٥٥٪. أما السماء فغالبا ما تكون صافية والسحب قليلة نتيجة لانخفاض معدلات الرطوبة النسبية. أما أشعة الشمس فهي تسقط مباشرة وقوية خلال النهار، ولكن نتيجة لانعدام السحب أثناء الليل فيمكن التخلص من الحرارة بواسطة الإشعاع ذي الموجات الطويلة long-wave radiation في اتجاه الفضاء الخارجي نحو السماء الصافية. الرياح غالبا ماتكون حارة وبها شوائب من الأتربة وذرات الرمل الناعمة. وتقل المساحات الخضراء والأشجار نتيجة لانخفاض معدلات الرطوبة وندره الأمطار. ومن المدن الرئيسية التي تمثل هذا النوع من المناخ أسوان في مصر وبغداد في العراق والرياض في المملكة العربية السعودية والعين في دولة الإمارات العربية المتحدة.

(ب) المناخ الحار الرطب

يوجد المناخ الحار الرطب في خطوط العرض نفسها التي تحدد المناخ الحار الجاف مع وجود مسطحات مائية واسعة. ويمكن تقسيم السنة إلى فصلين الفصل الأول حار أما الفصل الثاني فمعتدل نسبيا. أما معدلات الرطوبة النسبية فغالبا ما تكون مرتفعة وتتراوح من ٥٠٪ إلى ٩٠٪. أما السماء فتكون صافية كما في المناخ الصحراوي مع وجود بعض السحب الخفيفة التي قد تسبب الإبهار glare الناتج من شدة الضوء نتيجة لانعكاسات أشعة الشمس. أما أشعة الشمس فغالبا ما تكون قوية ومباشرة ومنعكسة بواسطة السحب وذرات المياه العالقة بالجو. الرياح غالبا ماتكون محليه وتتولد نتيجة للفوارق بين درجة حرارة الهواء في اليابسة والمسطحات المائية واختلافاتها أثناء النهار وأثناء الليل. ويكون اتجاه الرياح من البحر في اتجاه اليابسة أثناء النهار ومن الأرض اليابسة إلى البحر أثناء الليل. ومن المدن التي تمثل هذا النوع من المناخ الكويت (الكويت)، وكراتشي (الباكستان)، وجدة (المملكة العربية السعودية).

المعدل الشهري لدرجات الحرارة	الفصول	
	القصوى	الدنيا
	٤٠ - ٤٨	٢٤ - ٣٠
	٢١ - ٢٦	١٠ - ١٨

(ج) المناخ المركب

يوجد هذا المناخ في قلب القارات إلى الشمال من مدار السرطان وإلى الجنوب من مدار الجدي. ومن المدن التي تمثل هذا المناخ، لاهور في الباكستان، ونيودلهي في الهند وكانو في نيجيريا. ونسبة لأن هذه المناطق تبعد كثيراً عن خط الاستواء فإنها تتعرض إلى التباين الواضح في قوة أشعة الشمس خلال العام، وأيضاً إلى الاختلاف الكبير في اتجاه الرياح. ويمكن تقسيم المناخ في هذه المناطق إلى فصلين رئيسيين، الأول هو الفصل الحار الجاف والذي يمتد إلى ثمانية أشهر، والثاني هو الفصل الدافئ الرطب والذي يمتد إلى أربعة أشهر. خلال الفصل الحار الجاف يتراوح المعدل الشهري لدرجة الحرارة القصوى من ٣٢ إلى ٤٣ م، والمعدل الشهري لدرجة الحرارة الدنيا يتراوح من ٢١ إلى ٢٧ م، والمعدل الشهري للرطوبة النسبية يتراوح من ٢٢٪ إلى ٥٥٪. أما خلال الفصل الدافئ الرطب فإن المعدل الشهري لدرجة الحرارة القصوى يتراوح من ٢٧ إلى ٣٢ م، والمعدل الشهري لدرجة الحرارة الدنيا يتراوح من ٢٤ إلى ٢٧ م، والمعدل الشهري للرطوبة النسبية يتراوح من ٥٥٪ إلى ٩٥٪ (Koenigsberger et al., 1973).

(د) المناخ المداري للمرتفعات

يوجد هذا المناخ في المناطق المرتفعة والتي تكون علي ارتفاع يتراوح من ٩٠٠ إلى ١٨٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر. ومن المدن التي تمثل هذا المناخ، أديس أبابا في إثيوبيا، ونيروبي في كينيا، ونيو مكسكو في المكسيك. بالنسبة للمناطق التي تكون على ارتفاع ١٨٠٠ متر فوق سطح البحر يتراوح المعدل الشهري لدرجة الحرارة القصوى من ٢٤ إلى ٣٠ م، والمعدل الشهري لدرجة الحرارة الدنيا من ١٠ إلى ١٣ م، والرطوبة النسبية من ٤٥٪ إلى ٩٩٪ (Koenigsberger et al., 1973).

١.٢.٣) المناخ المعتدل Temperate climate

ينقسم المناخ المعتدل إلى أربعة أقسام رئيسية هي:

- (أ) مناخ البحر الأبيض المتوسط .
- (ب) المناخ المعتدل البحري .
- (ج) المناخ القاري المعتدل .
- (د) مناخ الحشائش المعتدلة .

(أ) مناخ البحر الأبيض المتوسط Mediterranean climate

يوجد هذا المناخ حول حوض البحر الأبيض المتوسط وبعض المناطق الأخرى التي تشاركه السمات نفسها، وينقسم إلى ثلاثة أنواع هي؛ الساحلي والجبلي والصحراوي. ويُعتَبَر هذا المناخ مُمَيِّزاً عن غيره من المناخات الأخرى في العالم إذ أنه معتدل معظم أيام السنة ويمكن وصفه بأنه حار جاف صيفاً دافئ ممطر شتاءً، ويُعزى ذلك إلى تأثير أجزاء هذا الإقليم المناخي بالكتل الهوائية القارية والبحرية المدارية خلال فصل الصيف والكتل الهوائية القطبية البحرية الرطبة خلال فصل الشتاء.

(ب) المناخ المعتدل البحري Marine temperate climate

تُمَيِّز أراضي هذا الإقليم المناخي بقربها من المسطحات المائية المجاورة والتي تؤثر على مناخها بشكل واضح وفعال. وكلما بُعِدَتْ أراضي هذا الإقليم عن البحر المجاور تقل كمية الأمطار الساقطة ويزداد المدى الحراري السنوي، في حين تتنوع كثافة الغطاءات النباتية مع ازدياد كمية الأمطار الساقطة ومن ثم تنمو الحشائش المعتدلة. ومن أهم مميزات هذا الإقليم مناخيا هو تغيير طقسه من مكان إلى آخر، بل ومن ساعة إلى أخرى في المكان الواحد نفسه. ومن ثم يَرى البعض أن هذا النوع من المناخ من الصعب تصنيفه «كمناخ» بل هو عبارة عن تتابع أيام متعاقبة ذات طقس متنوع. ويمثل المناخ البحري المعتدل في النطاق الغربي من القارة الأوروبية ويمتد من شمال إسبانيا جنوباً حتى بولنده وجنوب السويد شمالاً، كما توجد نطاقاته في أمريكا الشمالية وكندا على طول السهول الساحلية الغربية.

(ج) المناخ القاري المعتدل Continental temperate climate

يُعتبر الاختلاف الرئيسي بين المناخ القاري المعتدل والمناخ البحري المعتدل والذي سبق أن أشرنا إليه، هو أن المدى الحراري السنوي هنا يُعد مرتفعًا، وقد يصل إلى ضعف مقدار المدى الحراري السنوي للمناخ البحري المعتدل. ويرجع ذلك إلى بعد نطاق هذا الإقليم المناخي عن المؤثرات البحرية من جهة، وإلى قلة تأثيره بالرياح الرطبة الآتية من البحر إلى اليابس من جهة أخرى. ويقع هذا الإقليم المناخي تحت تأثير الكتل الهوائية القطبية القارية الشتوية، والكتل الهوائية المدارية البحرية الصيفية، وتقل فيه حدوث الانخفاضات الجوية مقارنة بحدوثها في الإقليم البحري المعتدل. ونتيجة لتعرض أجزاء هذا الإقليم للكتل الهوائية الباردة لفترة طويلة خلال السنة، يقل حدوث الانخفاضات الجوية بسبب استقرار الهواء ولندرة تقابل الكتل الهوائية المختلفة الخصائص. ومن ثمَّ يتمثل هذا الإقليم المناخي في منطقتين أساسيتين هما:

- ١ - المناطق الداخلية من القارات كما هو الحال في شرق أوروبا، وامتداد هذا النطاق شرقًا في أراضي روسيا الآسيوية.
- ٢ - المناطق الشرقية من القارات خاصة في شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية وكندا ومنشوريا وشبه جزيرة كوريا.

(د) مناخ الحشائش المعتدلة Temperate grassland climate

إنَّ مناخ الحشائش المعتدلة يُعتبر من أجفَّ أنواع مجموعة المناخات المعتدلة تبعًا لطرف موقعه بعيدًا عن المؤثرات البحرية، ووصول الرياح إليه شبه جافة، ومن ثمَّ تسهم الأمطار القليلة الساقطة في نمو حشائش قصيرة لينة تعرف باسم الاستبس. ومن هنا اكتسب هذا الإقليم تسميته من خصائص النباتات الطبيعية الممثلة فيه. يوجد هذا المناخ في أواسط أمريكا الشمالية وجنوب المناخ القاري المعتدل في روسيا وفي أواسط آسيا وجنوب الأرجنتين وجنوب شرق أستراليا.

(١, ٢, ٤) المناخ القطبي Arctic climate

ينقسم المناخ القطبي إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي:

- (أ) المناخ البارد أو شبه القطبي .
 (ب) المناخ القطبي .
 (ج) مناخ انغطاءات الثلجية .

(أ) المناخ البارد أو شبه القطبي

يغطي المناخ البارد القسم الشمالي من أمريكا الشمالية والقسم الشمالي من قارة أوروبا وانقسم الشمالي من قارة آسيا . ومعظم هذه المناطق بعيدة عن المؤثرات البحرية وتتميز بشدة برودتها خاصة خلال فصل الشتاء، وتغطي الثلوج مناطق واسعة منها، وكثيرا ما تكون الأرض نفسها شبه متجمدة خلال فصل الشتاء . ويتمثل فوق هذه المناطق مراكز نشوء الكتل الهوائية القطبية التي تتميز بالجفاف والبرودة . ويمتد هذا الإقليم المناخي من النصف الجنوبي لشبه جزيرة الاسكا غربا حتى الأراضي الكندية والأجزاء الشمالية من فنلندا .

(ب) المناخ القطبي

يضم هذا الإقليم أقصى الأجزاء الشمالية من كندا وشمال روسيا وجزيرة جرينلاند والقطب الجنوبي . وتشتد البرودة شتاءً وصيفا، حيث تنخفض درجة الحرارة دون الصفر المئوي خلال فصل الصيف أيضا .

(ج) مناخ انغطاءات الثلجية

هذا الإقليم يتميز بالبرودة الشديدة طيلة أيام العام، حيث تكون درجة حرارة الهواء دائما تحت الصفر المئوي . ويتمثل هذا الإقليم المناخي بالقسم الأوسط من جزيرة جرينلاند حيث تغطي الثلوج سطح الأرض طوال العام .

(١،٣) الخصائص العامة للأقاليم المناخية في الوطن العربي

يمكن تقسيم الوطن العربي بشكل عام إلى خمسة أقسام رئيسية تفصيلها كالآتي (الخولي، ١٩٧٥م) (شكل رقم ١،٤):
 ١- المناخ الحار الجاف الصحراوي .
 ٢- المناخ الحار الرطب الاستوائي .

- ٣ - المناخ الحار الرطب المداري الساحلي.
- ٤ - المناخ المداري للمرتفعات.
- ٥ - المناخ المعتدل الدافئ، مناخ البحر الأبيض المتوسط.

(١،٣،١) المناخ الحار الجاف الصحراوي

ينغني هذا النوع من المناخ معظم المناطق في الوطن العربي إذ يوجد في معظم شبه الجزيرة العربية باستثناء المرتفعات التي تقل فيها درجة الحرارة والمناطق الساحلية على شاطئ الخليج العربي والبحر الأحمر والتي تزيد فيها نسبة الرطوبة لتصير أقرب إلى المناخ الحار الرطب منها إلى المناخ الحار الجاف. ويشمل هذا الإقليم أيضا معظم مناطق شمال أفريقيا عدا بعض المناطق التي تطل على البحر الأبيض المتوسط والتي تتميز بالصيف الحار الجاف والشتاء الدافئ الممطر. بصفة عامة تتميز درجة حرارة الهواء في هذا المناخ بالارتفاع الكبير، وقد تصل درجة الحرارة القصوى إلى أكثر من ٤٥ م في فصل الصيف خلال ساعات النهار. ويُعتبر فصل الصيف من أطول فصول هذا الإقليم إذ يستمر من خمسة إلى ستة أشهر ويكون معدل درجة حرارة الهواء فيه حوالي ٤٠ م، بينما يُعتبر فصل الشتاء قصير، إذ يستمر من ثلاثة إلى أربعة أشهر ويكون معدل درجة حرارة الهواء فيه حوالي ٢٥ م ويكون الجو معتدلاً في باقي الشهور. إن ارتفاع درجة حرارة الهواء خلال فصل الصيف ناتج من شدة أشعة الشمس المباشرة والتي تسقط بشكل عمودي أو شبه عمودي طول النهار، وعدم وجود غطاء واق من الغيوم، فإن الفرق في درجات الحرارة اليومية بين الليل والنهار يكون كبيراً نسبياً في هذا الإقليم، إذ يصل الفرق بين درجة حرارة الهواء أثناء النهار ودرجة حرارة الهواء أثناء الليل إلى حوالي ٢٠ م. والسبب في ذلك يرجع إلى فقدان الأرض للكثير من حرارتها إلى السماء الصافية أثناء الليل بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة والتي تسبب في انخفاض معدلات درجة حرارة الهواء المحيط. أما الفرق في درجات الحرارة القصوى الشهرية بين فصلي الشتاء والصيف فيقدر بأكثر من ٣٠ م. والسبب في هذا التفاوت يرجع إلى أن أشعة الشمس تكون شبه عمودية خلال فصل الصيف، بينما تقل زاوية سقوط أشعة الشمس خلال فصل الشتاء.

عموماً تتصف مناطق المناخ الحار الجاف الصحراوي بالجفاف الشديد رغم وجود بعض المناطق التي تسقط فيها الأمطار، والتي يتراوح معدل سقوطها من ٥٥ إلى ١٥٥ ملميمتر في العام (Koenigsberger et al., 1973). وبالرغم من تدني معدل سقوط الأمطار، إلا أنها لا تخضع لنظام محدد، إذ أنها تنهمر وبشدّة وبطريقة فجائية ولفترات قصيرة في بعض المناطق. ونظراً لارتفاع الملحوظ في درجة الحرارة والانخفاض في الرطوبة فإن المياه المتساقطة تبخر بسرعة. ويتميّز هذا المناخ برياحه الحارة الحاملة للرمال والتي تهب في فترات مختلفة على مدار العام. تكثر الرياح الرملية في هذا الإقليم في أوائل فصل الصيف وخلال فصل الربيع نتيجة للتغيرات التي تحدث في مجالات الضغط الجوي. وتهب الرياح، والتي تتميز بدرجة حرارة مرتفعة، من مناطق الضغط العالي في الصحراء الليبية أو شبه الجزيرة العربية إلى مناطق الضغط المنخفض وتحمل معها ذرات الرمال. هذه الرياح الحارة والتي تحتوي على ذرات من الرمال لها بعض الآثار الضارة جداً كاضطرابات الاتصالات السلكية واللاسلكية وانعدام الرؤية. هذا النوع من الرياح تُطلق عليها مسميات مختلفة في الوطن العربي، إذ تُعرف في منطقة الخليج العربي (بالطور) وفي شبه الجزيرة العربية والسودان (بالسموم) وفي الشام (بالشكوك) وفي ليبيا (بالرياح القبلي) وفي مصر (برياح الخماسين).

(١, ٣, ٢) المناخ الحار الرطب الاستوائي

يندر وجود هذا النوع من المناخ في الوطن العربي وينحصر وجوده في مساحة صغيرة في جنوب السودان. وتتميّز طبوغرافية إقليم جنوب السودان بأنها منبسطة باستثناء الأطراف الجنوبية الشرقية التي تكثر فيها التلال والجبال وتغطي هذا الإقليم حشائش السافانا بأنواعها المختلفة وبعض الغابات الخفيفة. تختلف درجة حرارة الهواء في هذا الإقليم نتيجة للاختلاف في معدل هطول الأمطار، إذ تبلغ أدنى مستوى لها في فصل الخريف فتصل إلى ١٨م لكثرة هطول الأمطار وتبلغ أعلى مستوى لها في فصل الصيف الجاف حيث تصل إلى ٣٨م. ويكون المتوسط السنوي لدرجة الحرارة في هذا الإقليم حوالي ٢٥م، كما أن المدى الحراري اليومي والسنوي قليل جداً مقارنة بالمدى الحراري للمناخ الحار الجاف، إذ لا يتجاوز المدى الحراري السنوي في هذا

الإقليم ثلاث درجات متوية، ويرجع ذلك إلى الارتفاع النسبي للرطوبة على مدار العام، وانخفاض معدل التبخر وكثافة الغطاء العشبي الذي يستمر لأكثر من سبعة أشهر في العام.

هذا الإقليم المناخي يتميز بطول فصل الأمطار الذي يتعدى السبعة أشهر والذي يبدأ في شهر أبريل ويستمر حتى شهر أكتوبر أو نوفمبر من كل عام. إن طول فصل الأمطار، والغزارة التي تسقط بها، والمساحات النباتية الكثيفة لها أثرها الواضح في ارتفاع نسبة الرطوبة حيث تصل في معظم الأحيان إلى ٩٠٪ وقد تعداها في موسم الأمطار. ويتميز هذا المناخ أيضا بالرياح المعتدلة السرعة نتيجة للغابات الكثيفة، وفي موسم الأمطار قد تتحول هذه الرياح المعتدلة إلى عواصف رعدية قاسية يتبعها سقوط أمطار غزيرة.

(١,٣,٣) المناخ الحار الرطب المداري الساحلي

يغطي هذا المناخ الشريط الساحلي للخليج العربي وساحل شبه الجزيرة العربية، وسواحل البحرين، والشريط الساحلي المطل على البحر الأحمر ويتمثل في مدن جدة ودبي وأبوظبي. إن هذا المناخ مشابه لمناخ المناطق الحارة الجافة باستثناء قربها من البحر الذي يؤدي إلى ارتفاع ملحوظ في درجات الرطوبة. يتميز هذا المناخ بصيف حار جدا إذ يتراوح المعدل الشهري لدرجات الحرارة من ٢٤ إلى ٤٦ م، ونسبة رطوبة عالية إذ يتراوح المعدل الشهري للرطوبة النسبية في فصل الصيف من ٥٠٪ إلى ١٠٠٪.

(١,٣,٤) المناخ المداري للمرتفعات

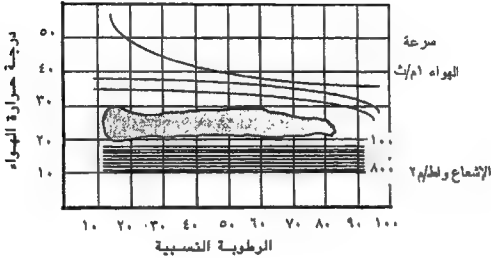
هناك بعض المناطق المدارية التي تتميز بارتفاعها الملحوظ عن سطح البحر، مثل مرتفعات السروات وعسير في غرب المملكة العربية السعودية، وجبال الساحل اليمني، وجبال الساحل الشرقي السوداني، حيث يتراوح الارتفاع من ٩٠٠ إلى ١٢٠٠ متر عن سطح البحر. إن الارتفاع الكبير عن سطح الأرض يؤدي لانخفاض واضح في درجات الحرارة، إذ تتراوح درجات الحرارة خلال فصل الصيف من ٢٠ إلى ٣٢ م، وخلال فصل الشتاء من ٦ إلى ٢٦ م، أما الأمطار فتعطل في فصل الشتاء.

(١,٣,٥) المناخ المعتدل الدافئ

يشمل هذا المناخ السهول الساحلية من شمال القارة الأفريقية المطلة على البحر الأبيض المتوسط والسفوح الغربية لمرتفعات الشام. يكون الصيف في هذا الإقليم جافاً، أما الأمطار فتسقط في فصل الشتاء. هذا المناخ يعرف بمناخ البحر الأبيض المتوسط، حار جاف صيفاً دافئاً ممطراً شتاءً. يتميز هذا المناخ باعتدال درجات الحرارة خلال فصل الشتاء، إذ يتراوح المعدل الشهري من ١٥ إلى ٢٠ م، في حين يكون الصيف حاراً وتتراوح درجة الحرارة من ٢٨ م إلى ٣٢ م، قد ترتفع درجة حرارة الهواء خلال فصل الصيف أثناء النهار إلى معدلات عالية نتيجة لقوة أشعة الشمس التي تسقط على الأرض من خلال السماء الصافية. إن متوسط الرطوبة في هذا الإقليم (٥٠٪ - ١٠٠٪) تعتبر عالية نسبياً مقارنة بالإقليم الحار الجاف (١٠٪ - ٥٥٪)، وذلك نتيجة لسقوط الأمطار في فصل الشتاء وانخفاض معدل التبخر. خلال فصل الصيف يتعرض الجزء الشرقي من هذا الإقليم للرياح الموسمية التي تتخلص من أمطارها عند عبورها سلاسل الجبال ثم تتجه شرقاً نحو ساحل الشام. في حين أن الجزء الغربي من هذا الإقليم تهب عليه الرياح الشمالية في طريقها إلى الصحراء الكبرى. أما خلال فصل الشتاء يتعرض الإقليم للرياح الغربية التي تكون مشبعة بالبخار وتسبب في هطول الأمطار.

(١,٤) التصميم المناخي Climatic Design

يمكن تعريف المناخ الحراري بعناصره الأربعة؛ وهي درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية، والإشعاع، وسرعة الهواء. وقد تم تصميم وتطوير المخطط البياني الحيوي المناخي bioclimatic chart من أجل دراسة التفاعل الكلي لهذه العناصر الأربعة وأثرها ومفعولها على إحساس الإنسان بالراحة (Olgay and Olgay, 1963). وقد احتوى المخطط البياني الحيوي المناخي الموضح على الشكل رقم (١,٥) على محور رأسي يمثل درجة حرارة الهواء وقوة الإشعاع ومحور أفقي يمثل الرطوبة النسبية. ويمكن تحديد منطقة الراحة الحرارية استناداً على نتائج الدراسات والتجارب الميدانية التي أجريت في هذا المجال. لقد تم تحديد الحد الأعلى والحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية بناءً على درجة الحرارة ومعدلات الرطوبة النسبية مع اعتبار الهواء ساكناً وفي غياب أي إشعاع، في حين يدخل العاملان الآخران وهما سرعة الهواء الذي يؤثر على الحد الأعلى وقوة الإشعاع الذي يؤثر على الحد الأدنى.



شكل رقم (١،٥). للمخطط البياني الجوي المناخي.

المصدر: Szokolay (1980), p. 263

إن حركة الهواء وقوة الإشعاع لهما مفعول كبير وأساسي على معدل التبادل الحراري بين الإنسان والمناخ المحيط به. عندما تكون درجة حرارة الهواء أقل من درجة حرارة السطح الخارجي لجسم الإنسان، يفقد الإنسان جزءاً من حرارته نتيجة لاحتكاكه مع الهواء البارد، وكلما زادت سرعة الهواء زاد معدل فقدان الحرارة وبذلك يرتفع الحد الأعلى لمنطقة الراحة الحرارية. وعندما تكون معدلات الرطوبة النسبية منخفضة يزداد معدل فقدان الحرارة بواسطة تبخر العرق كلما زادت سرعة الهواء، وأيضاً يرتفع الحد الأعلى لمنطقة الراحة الحرارية. أما الإشعاع بنوعه المباشر من الشمس وغير المباشر من الأسطح المواجهة لجسم الإنسان فلإن مفعوله يكون ذا فائدة كبيرة فقط عندما تكون درجة حرارة الهواء أقل بكثير من درجة حرارة السطح الخارجي لجسم الإنسان. بواسطة الإشعاع يمكن للإنسان تعويض الحرارة التي يفقدها للمناخ الخارجي بواسطة تيارات الحمل عندما تكون درجة حرارة الهواء متدنية، ولذلك يمكن تحديد الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية بناءً على معدلات قوة الإشعاع. في بعض الحالات عندما تقع النقطة خارج منطقة الراحة الحرارية، يمكن معالجتها من خلال تغيير سرعة الهواء أو

تغيير معدل الإشعاع. مثال لذلك، عندما تكون درجة حرارة الهواء = ٢٤°م والرطوبة النسبية ٧٠٪، يحتاج الشخص إلى سرعة هواء في حدود ١.٢٥ متر/ ثانية ليكون داخل نطاق منطقة الراحة الحرارية. أما عندما تكون درجة حرارة الهواء ١٠°م والرطوبة النسبية ٥٦٪ فإن الشخص يحتاج إلى قوة إشعاع شمسي في حدود ٧٨ واط لتعويض ما يفقده من حرارة بواسطة تيارات الهواء البارد ليكون داخل نطاق منطقة الراحة الحرارية (Koenisberger et al., 1973).

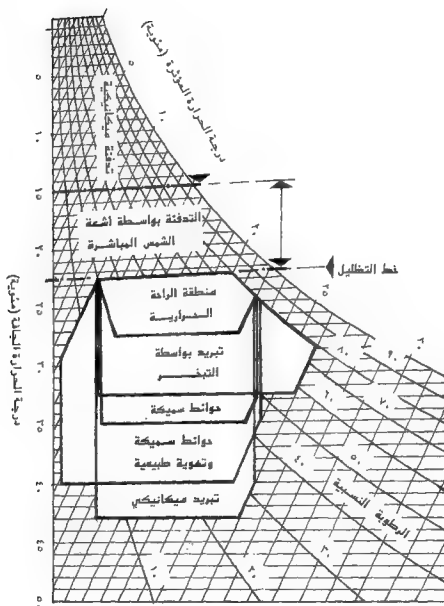
إن دراسة المخطط البياني الحيوي المناخي وتحليله يُعتبر الخطوة الأولى في التصميم المناخي الذي يهدف إلى تحقيق الانسجام والاتزان بين المبنى والمناخ المحيط به. ونتيجة للدراسة المخطط البياني الحيوي المناخي يمكن للمهندس المعماري التوصل إلى الحلول والمعالجات المناخية التي يوفرها مناخ الموقع، والتي قد تساعد في تحقيق متطلبات الإنسان من الراحة الحرارية. أما إذا كانت هنالك صعوبات في تلبية كل متطلبات الراحة الحرارية للإنسان بواسطة المعالجات المناخية، في هذه الحالة يتعين على المهندس المعماري محاولة الاستفادة من خصائص المناخ إلى أقصى حد ممكن، ومن ثمّ يستعين بالوسائل الميكانيكية المتمثلة في التكييف الميكانيكي والراوح الهوائية، وبذلك يكون قد أسهم إسهاماً فاعلاً في ترشيد استهلاك الطاقة.

إن تطور التصميم المعماري كان ولا يزال في تجاوب مستمر مع المناخ الحراري. وفي عام ١٩٦٣م نبعت فكرة المخطط البياني الحيوي المناخي في زمن اتسم بالاهتمام الكبير من جانب الباحثين والمهندسين المعماريين تجاه المناخ وأهميته بالنسبة للتصميم (Olgyay and Olgyay, 1963). وفي عام ١٩٦٩م ظهرت فكرة بياني خواص الهواء psychrometric chart والذي يُعتبر من الوسائل المهمة التي تساعد المصمم في وضع الأسس التصميمية من أجل تحسين الأداء الحراري للمبنى (Milne and Givoni, 1979 and Szokolay, 1986). إن بياني خواص الهواء يتيح للمهندس المعماري التوصل إلى القرارات التصميمية الخاصة بالمعالجات المناخية التي تساعد على الاستفادة من خصائص المناخ المحيط. ويتم تحليل البيانات المناخية على النحو التالي:

في المرحلة الأولى لابد من تحديد منطقة الراحة الحرارية على بياني خواص الهواء. إن تحديد منطقة الراحة الحرارية يمكن أن يتم بناء على نتائج الدراسات والتحليلات للبيانات المناخية الخاصة بالموقع. ولاشك أن متطلبات الراحة الحرارية

لإنسان تختلف باختلاف المناخ السائد في المنطقة التي يعيش فيها، والحالة الثقافية والاقتصادية والاجتماعية للمجتمع كما تختلف من شخص إلى آخر باختلاف الحالة الصحية للفرد والنشاط الذي يقوم به. كما أن هنالك قدرا من التباين في متطلبات الفرد الواحد باختلاف الفصول وذلك للتباين الكبير في معامل العزل الحراري للملابس صيفا وشتاء، وبالتالي يمكننا تحديد متطلبات الراحة الحرارية لفصلي الصيف والشتاء. يتم تحديد منطقة الراحة الحرارية بناءً على معدلات العناصر المناخية التي تتفاعل مع الإنسان وتؤثر على إحساسه بالحرارة. وبالنسبة للأشخاص الذين يعيشون في المناطق الحارة يمكن تحديد منطقة الراحة الحرارية من ٢٢° إلى ٢٦,٥°م والرطوبة النسبية من ٢٠٪ إلى ٨٠٪ (Szokolay, 1986). ولقد تم توضيح منطقة الراحة الحرارية الخاصة بالمناطق الحارة على بياني خواص الهواء على (الشكل رقم ١,٦). وإذا كانت درجة حرارة الهواء ومعدلات الرطوبة للمناخ الخارجي تقع ضمن منطقة الراحة الحرارية لايكون هنالك ضرورة للمبنى، إذ يمكن للإنسان أن يجد الراحة الكاملة تحت ظل شجرة مثلاً. ولكن غالباً ما تكون خصائص المناخ الخارجي خارج منطقة الراحة الحرارية على الأقل في فترة ما خلال العام. ولابد من لفت نظر القارئ هنا إلى أن بياني خواص الهواء ومنطقة الراحة الحرارية المحددة عليه دراسة تقريبية الهدف منها إعطاء فكرة عامة عن خصائص مناخ الموقع ومتطلبات الراحة الحرارية للإنسان والحلول والبدايل المتاحة التي يوفرها التصميم المناخي ويجب ألا يؤخذ بدقة متناهية.

وفي المرحلة الثانية يتم توضيح الفترة التي تمثل خصائص المناخ المحيط التي تتجاوز منطقة الراحة الحرارية نتيجة للحرارة الزائدة، والذي يتيح فرصة الحصول على المناخ الملائم من خلال تصميم الغلاف الخارجي للمبنى. إن استعمال غلاف خارجي ذي سعة حرارية عالية يساعد على زيادة معدل التأخر في انسياب الحرارة من الخارج إلى الداخل. كذلك يكون بالإمكان الاستفادة من التهوية الطبيعية أثناء الليل لتخفيض درجة حرارة الغلاف الخارجي بواسطة الهواء البارد. أما عندما تكون معدلات الرطوبة النسبية مرتفعة جداً تزداد أهمية التهوية الطبيعية وسرعة الهواء من أجل تحسين خصائص المناخ الداخلي. وعندما تكون سرعة الهواء الطبيعية غير فعالة يمكن الاستعانة بوسائل التهوية الميكانيكية كالمراوح الهوائية ومراوح سحب الهواء. أما عندما تكون معدلات



شكل رقم (٦، ١) تقسيمات بياني خواص الهواء.

المصدر: Norbert (1991), p. 46

درجة حرارة الهواء مرتفعة جدا ومعدلات الرطوبة النسبية منخفضة، يمكن الاستفادة من التبريد بواسطة التبخر، وفي حالة الانخفاض الشديد في معدلات الرطوبة يمكن تلطيف المناخ من خلال زيادة الرطوبة. وعندما تكون الأحوال المناخية خارج إمكانيات الحلول الطبيعية، يكون البديل الوحيد هو استعمال الوسائل الميكانيكية كأجهزة تكييف الهواء. أما بالنسبة للمناطق ذات المناخ البارد فإن التصميم المناخي قد يوفر فرصا جيدة وذلك بالاستفادة من أشعة الشمس المباشرة خلال الفصل البارد. أما عندما تكون درجات الحرارة منخفضة جدا مع عدم توافر القدر الكافي من أشعة الشمس في الموقع، يكون أحد البدائل في هذه الحالة هو اللجوء إلى استعمال وسائل الطاقة الأخرى كالفحم والزيوت والغاز والكهرباء... الخ من أجل التدفئة. ويمكن تقسيم الأسس العامة للتصميم المناخي إلى قسمين رئيسيين، القسم الأول الذي يختص بأساسيات التصميم للمناطق ذات المناخ البارد، والقسم الثاني الذي يختص بأساسيات التصميم للمناطق ذات المناخ الحار.

(١، ٤، ١) التصميم المناخي للمناطق الباردة

تتمركز حدود المناخ البارد إلى اليسار من منطقة الراحة الحرارية الموضحة على بياني خواص الهواء (الشكل رقم ١، ٦). في هذه الحالة تكون الخطوة الأولى التي يجب التفكير فيها واللجوء إليها هي كيفية الاستفادة من أشعة الشمس المباشرة في عملية التدفئة. إن أسهل الطرق للاستفادة من أشعة الشمس المباشرة في التدفئة هي السماح لهذه الأشعة بالنفاذ إلى الفراغ الداخلي من خلال الفتحات والمسطحات الزجاجية. وهناك وسائل أخرى يمكن بواسطتها الاستفادة من أشعة الشمس المباشرة في التدفئة. أما إذا كانت أشعة الشمس تسقط على حائط مصمت، أي غير شفاف، فإن أشعة الشمس الساقطة على سطحه الخارجي سوف ترفع درجة حرارته ومن ثمّ تدفق الحرارة عبر الحائط إلى السطح الداخلي بواسطة التوصيل، ثمّ إلى الفراغ الداخلي بواسطة الإشعاع غير المباشر وتيارات الحمل. إن معدل تدفق الحرارة عبر الحائط يعتمد على الخصائص الحرارية للمواد المستعملة وعلى طريقة إنشاء الحائط، وعلى الفرق في درجات الحرارة بين السطح الخارجي والسطح الداخلي (راجع الفصل الثالث). إن الحوائط الرفيعة تساعد على زيادة معدل تدفق الحرارة من الخارج إلى الداخل أثناء النهار ولكنها

أيضا تؤدي إلى فقدان كميات كبيرة من الحرارة وتسربها من الداخل إلى الخارج أثناء الليل. ومن المعالجات المناخية في هذه الحالة جعل أشعة الشمس المباشرة تسقط على الحوائط والأرضيات والأسقف السميكة ذات السعة الحرارية العالية والتي تساعد في تخزين كميات كبيرة من الحرارة لفترات طويلة حتى يُستفاد منها أثناء الليل عندما تنخفض درجات الحرارة دون مستوى الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية. في العمارة التقليدية كانت الحوائط السميكة يتم تشييدها من الطين والحجر. أما في العمارة المعاصرة فقد ظهرت أنواع مختلفة من مواد البناء والتي يمكن الاستفادة من سعتها الحرارية العالية مثال ذلك الخرسانة المسلحة. ومن الحلول الجيدة استعمال الماء كمستودع للحرارة وذلك بحفظه في خزانات مع وضع مادة شفافة كالبلاستيك أو الزجاج في السطح المواجه لأشعة الشمس، على الجدران الخارجية أو السقف أو النافذة. تسقط الحرارة على السطح الشفاف وتتسرب إلى الداخل فيقوم الماء بامتصاص الحرارة أثناء النهار. وعند مغيب الشمس يتم عزل خزان الماء من الفضاء الخارجي لمنع تسرب الحرارة إلى الخارج وجعل الحرارة تتدفق إلى الداخل. إن فعالية التدفئة بواسطة أشعة الشمس المباشرة تعتمد على مساحة المسطحات الزجاجية وعلى معدل سقوط الطاقة الإشعاعية عبر النوافذ والفتحات وعلى الأسطح الخارجية للحوائط والأسقف. إن التحديات التي تواجه المهندس المعماري في المناخ البارد تكمن في كيفية الاستفادة القصوى من أشعة الشمس المباشرة في تدفئة المناخ الداخلي وعدم اللجوء إلى استعمال الوسائل الأخرى نسبة لسلبياتها مقارنة بأشعة الشمس. وفي حالة عدم كفاءة التدفئة بواسطة أشعة الشمس المباشرة يكون من الضروري استعمال وسائل التدفئة التقليدية كالفحم والغاز والزيت والخشب والتي لها سلبياتها من حيث التلوث، في حين أن الطاقة الكهربائية مازالت تعتبر البديل الأفضل مقارنة بالبديل الأخرى. أما استعمالات الطاقة الشمسية النشطة *active solar energy* لتوليد الطاقة الكهربائية فما زالت جدواها الاقتصادية تحت الدراسة في محاولة لتخفيض تكلفتها الأولية وتكلفة صيانتها وتخزينها وتحسين كفاءتها وأدائها. ويمكن تلخيص المتطلبات الأساسية الخاصة بالتصميم المناخي للمناطق الباردة كالآتي:

- (أ) تصميم المبنى الذي يتيح أكبر قدر من الاستفادة من أشعة الشمس المباشرة في التدفئة .
 (ب) حماية المبنى من الهواء البارد خاصة خلال فصل الشتاء .
 (ج) الاحتفاظ بالحرارة الداخلية، وتخفيض معدل تسربها إلى الخارج .

(١.٤.٢) التصميم المناخي للمناطق الحارة

تتمركز حدود المناخ الحار على يمين منطقة الراحة الحرارية، وينقسم إلى قسمين رئيسيين هما المناخ الحار الجاف والمناخ الحار الرطب .
 ويمكن تلخيص المتطلبات الأساسية الخاصة بالتصميم المناخي لهذه الأقسام كالآتي (Saini, 1980).

أولاً : المناخ الحار الجاف

- (أ) حماية الفراغ الداخلي من مفعول تسرب الحرارة الناتجة من سقوط أشعة الشمس المباشرة خلال فصل الصيف، وذلك باختيار التوجيه المناسب للفتحات والتظليل .
 (ب) استعمال المواد العازلة في الغلاف الخارجي، الأسقف والحوائط .
 (ج) حماية الغلاف الخارجي من أشعة الشمس المباشرة وذلك بواسطة التظليل أو شكل المبنى أو الأسقف المزدوجة أو الحوائط الساترة . . . الخ .
 (د) عندما يكون الاعتماد كلياً على النظم الطبيعية في التحكم في المناخ الداخلي، كما كان الحال في المباني التقليدية، في هذه الحالة يمكن الاستفادة من خاصية السعة الحرارية بهدف تأخير وصول الحرارة القصوى إلى داخل الفراغ أثناء النهار .
 (هـ) استعمال الألوان الفاتحة بالنسبة للأسطح الخارجية لغلاف المبنى من أجل تخفيض مفعول أشعة الشمس المباشرة .
 (و) تصميم المبنى الذي يتيح أكبر قدر ممكن من التهوية الطبيعية وذلك للاستفادة من مفعول الهواء البارد أثناء الليل في تخفيض درجة حرارة الحوائط والأسقف والهواء الداخلي .
 (ز) الاستفادة من إمكانية التبريد بواسطة تبخر الماء من المسطحات المائية والخضراء والنوافير .

ثانياً: المناخ الحار الرطب

(أ) حماية الفراغات الداخلية من مفعول أشعة الشمس المباشرة، خاصة خلال فصل الصيف الحار .

(ب) تصميم المبنى الذي يتيح أكبر قدر من التهوية الطبيعية وذلك من أجل تخفيض معدلات الرطوبة النسبية خاصة خلال فصل الصيف الحار .

(ج) تفادي وجود العناصر التي قد تؤدي إلى زيادة الرطوبة، كالمسطحات المائية، والمسطحات الخضراء، والنوافير .

(٣، ٤، ١) السعة الحرارية لمواد البناء

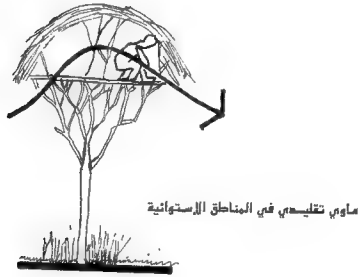
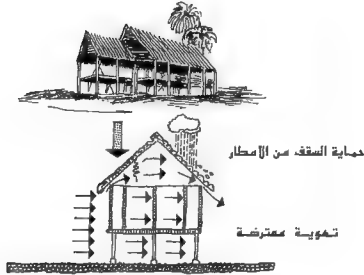
إن استعمال الحوائط والأسقف السميكة ذات السعة الحرارية العالية تُعتبر من الأسس التصميمية المهمة في المناطق ذات المناخ الحار الجاف والتي انتشر استعمالها في العمارة التقليدية وأثبتت فعاليتها. إن أحد الأهداف الرئيسية من استعمال الحوائط السميكة هو تأخير وصول الذروة الحرارية إلى داخل الفراغ. تسقط أشعة الشمس على السطح الخارجي وتبدأ حرارته في الارتفاع ومن ثم تبدأ في التدفق إلى الداخل. إذا كان الحائط أو السقف سميكاً وسعته الحرارية عالية يتأخر وصول الذروة الحرارية إلى الداخل. عندما تغرب الشمس تنخفض درجة حرارة الفضاء الخارجي وتنخفض درجة حرارة السطح الخارجي للحائط تدريجياً نتيجة للتبادل الحراري بواسطة تيارات الحمل والإشعاع غير المباشر. وعندما تصل درجة حرارة السطح الخارجي إلى مستوى أقل من درجة حرارة السطح الداخلي ينعكس مسار تدفق الحرارة ليصير من الداخل إلى الخارج. وعندما يكون الفرق بين درجة الحرارة العليا ودرجة الحرارة الصغرى حوالي ٢٠ م وإذا كان سمك حائط اللين حوالي ٣٠ سنتيمتراً فإن درجة الحرارة الداخلية تكون أقل من درجة الحرارة الخارجية بحوالي ١٠ م ويكون وصول ذروة الحرارة بعد ١٢ ساعة. وهذا يعني أن أكثر فترة باردة بالليل يكون مفعولها في الفراغ الداخلي عند منتصف النهار. وبالتالي تقوم الأجزاء الباردة من غلاف المبنى كالأسقف والحوائط الخارجية بامتصاص الحرارة من القواطع الداخلية والأثاث. ونتيجة لذلك يستطيع الإنسان التخلص من الحرارة الفائضة إلى الأسطح الباردة بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة. ولا بد من معالجة الفتحات والنوافذ الخارجية وتوفير الحماية الكاملة لها من أشعة الشمس خاصة أثناء فصل الصيف الحار. ويُفضل استعمال الألوان الفاتحة بالنسبة

لأسطح الخارجية لغلاف المبنى لكي يساعد على انعكاس أكبر قدر من أشعة الشمس، وبالتالي يؤدي إلى انخفاض الحرارة التي يمتصها السطح من أشعة الشمس المباشرة.

(٤.٤.١) التهوية الطبيعية

عندما تكون معدلات درجة حرارة الهواء أثناء الليل منخفضة نسبياً، يكون بالإمكان الاستفادة من النسيم البارد في انخفاض درجة حرارة المنشأ. في هذه الحالة تكون الفرصة مواتية للاستفادة من التباين في ضغط الهواء وذلك بالتوزيع الملائم والمعروف للفتحات التي تساعد على توزيعه ونسيابه داخل الفراغ وبالسرية المناسبة (راجع الفصل الخامس). وقد أثبتت التهوية الطبيعية أثناء الليل كفاءة عالية في المناطق ذات المناخ الحار الجاف والتي تتميز بالتباين الكبير في درجة حرارة الهواء القصوى والدنيا. يجب توفير التهوية الجيدة أثناء الليل وذلك بالسماح للهواء البارد بالمرور على أجزاء المبنى المختلفة ليمتص أكبر قدر من الحرارة المخزونة بواسطة الحوائط والأسقف والأرضيات. أما أثناء النهار فيتم قفل النوافذ والفتحات لمنع هروب الهواء البارد إلى الخارج ودخول الهواء الحار إلى الداخل. وعندما تكون معدلات التهوية الطبيعية غير كافية لتوفير حركة الهواء اللازمة لفقدان الحرارة بواسطة تيارات الحمل والتبخير يمكن الاستفادة من الملاقف الهوائية قبل اللجوء إلى الوسائل الميكانيكية. والمبنى المثالي في هذه الحالة هو الذي يحتوي على حوائط وأسقف سميكة من مواد ذات سعة حرارية عالية ومواد عازلة وأسطح خارجية بألوان فاتحة تعكس أكبر كمية من أشعة الشمس المباشرة وحوائط وأسقف ونوافذ محمية حماية كاملة من أشعة الشمس المباشرة ومنعها من النفاذ إلى الفراغات الداخلية مع توفير التهوية الطبيعية اللازمة للاستفادة من الهواء البارد أثناء الليل.

أما بالنسبة للمناطق ذات المناخ الحار الرطب فإن التباين في درجات الحرارة يكون بسيطاً جداً وبالتالي فإن استعمال الحوائط والأسقف السميكة ذات السعة الحرارية العالية يكون غير مفيد. في هذه الحالة يكون الحل الأمثل باستعمال الحوائط والأسقف الرقيقة السماكة مثل الأخشاب والمواد اللينة والمواد العازلة. إن معظم المباني التقليدية والتي تم تشييدها في هذه المناطق كانت تبنى من القش والتبن ومفتوحة من الجانبين في اتجاه الهواء ومرتفعة عن سطح الأرض للاستفادة القصوى من حركة الهواء لتخلص من مفعول ارتفاع الرطوبة كما هو واضح في الشكل (١،٧). هنالك



شكل رقم (٧, ١). التهوية الطبيعية في المناطق الاستوائية.

المصدر: Konya (1984), p. 43

إمكانية الحصول على المناخ الملائم شريطة أن يكون المبنى محميا حماية كاملة من أشعة الشمس المباشرة. ومعزولا عزلا كاملا بواسطة العزل الحراري الفعال، وأن يكون السطح الخارجي للحوائط والأسقف عاكسا للحرارة وأن تكون الأرضيات المحيطة بالمبنى غير عاكسة للحرارة الناتجة من أشعة الشمس المباشرة. وفي حالة توافر سرعة الهواء بمعدلات مرتفعة يمكن تحقيق الراحة الحرارية للإنسان عندما يكون جالسا ويرتدي ملابس صيفية خفيفة حتى ولو كانت درجة حرارة الهواء في حدود ٣٢ م، وذلك لأن حركة الهواء سوف تساعد على فقدان الحرارة بواسطة تيارات الحمل وتبخر العرق. أما عندما تكون التهوية الطبيعية غير كافية لتحقيق سرعة الهواء المطلوبة يكون من الضروري الاستعانة بالبدائل الصناعية والميكانيكية كالمراوح .

(١.٤.٥) التبريد بواسطة التبخر

إن مفعول التبريد بواسطة التبخر قد أظهر فعالية كبيرة خاصة في المناطق ذات المناخ الحار الجاف. ولكن نسبة لقلة الماء في كثير من هذه المناطق، فإن استعمال وسيلة تبخر الماء لتبريد الفراغات الداخلية ظلت محدودة. ومن الأمثلة الجيدة في هذا المجال استعمال تبخر الماء لتلطيف المناخ في الحدائق الفارسية التي إنتشرت فيها النوافير. نتيجة لتبخر الماء المستمر قد ترتفع نسبة الرطوبة إلى معدلات عالية تصل في بعض الأحيان إلى ١٠٠٪، في هذه الحالة لابد من التخلص من الهواء المشبع بالرطوبة واستبداله بهواء قليل الرطوبة من الخارج يساعد في استمرار عملية التبخر بالمعدلات المطلوبة.

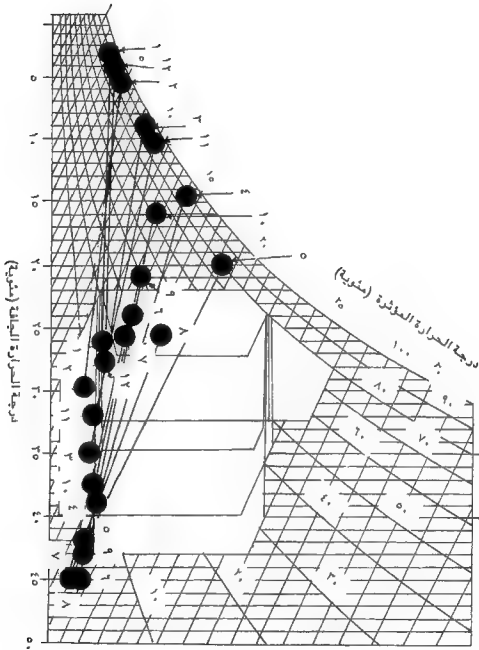
(١.٤.٦) التصميم المناخي لمدينة الرياض

لقد تم شرح الكيفية التي يمكن بموجبها دراسة وتحليل المناخ لأي موقع من أجل تحديد الأسس العامة للتصميم المناخي بواسطة بياني خواص الهواء. لاشك أن الاستعانة ببياني خواص الهواء في تحليل المناخ وتحديد المتطلبات الأساسية للتصميم المعماري في المراحل الأولية يُعتبر وسيلة فعالة وضرورية لتصميم المبنى. بعد الحصول على البيانات المناخية اللازمة وإدخالها على هذا البياني وعلى ضوء النتائج المستخلصة منه يمكن وضع الأسس التصميمية التي

تساعد على الاستفادة القصوى من خصائص المناخ والبدايل التصميمية الملائمة له. إن التحدي الذي يواجهه الكثير من المصممين هو إيجاد الحل المعماري الأمثل المبني يتعرض إلى تباينات مناخية واضحة خلال العام، إذ قد يتعرض المبنى إلى أشعة الشمس الشديدة الحرارة خلال فصل الصيف وإلى الهواء البارد خلال فصل الشتاء. يحتاج المصمم في هذه الحالة إلى دراسات وتحليلات دقيقة تأخذ في الاعتبار أهمية كل فصل من الفصول، كطول الفترة ومعدلات درجات الحرارة والرطوبة ومقارنتها بمتطلبات الراحة الحرارية للإنسان، ومن ثم يتم وضع الأسس التصميمية الملائمة. في بعض الأحيان قد يكون من الممكن استعمال فكرة تصميمية واحدة تؤدي الغرض المطلوب خلال فصلين مختلفين. مثال ذلك استعمال عنصر الماء كمستودع لتخزين الحرارة وذلك نسبة لما يتميز به الماء من سعة حرارية عالية وتكلفة منخفضة. لقد أثبتت التجارب أنه يمكن استعمال الماء أو أي مادة أخرى لها سعة حرارية عالية من أجل التدفئة خلال فصل الشتاء والتبريد خلال فصل الصيف (Milne and Givoni, 1979).

تقع مدينة الرياض عاصمة المملكة العربية السعودية في هضبة نجد على خط عرض ٢٤° و ٤٢° شمال خط الإستواء وخط طول ٤٦° و ٤٤° شرق خط قريتش وعلى ارتفاع ٦٢٤ متراً فوق سطح البحر. من خلال تحليل البيانات المناخية لمدينة الرياض يتضح لنا أن فصل الصيف يمتد من يونيو إلى سبتمبر ويتراوح المعدل الشهري لدرجة الحرارة الدنيا من ٢١,٥°م إلى ٢٤,٥°م، أما المعدل الشهري لدرجة الحرارة القصوى فيتراوح من ٤٢,٠°م إلى ٤٥,٠°م (مصلحة الأرصاد، ١٩٨١ والإدارة العامة للأرصاد، ١٩٨٨). أما بالنسبة للرطوبة لنفس الفترة فإن المعدلات العليا تتراوح من ٣٣,٥٪ إلى ٣٩٪ والمعدلات الصغرى تتراوح من ٥٪ إلى ٦٪. من الملاحظات المهمة أن المعدلات العليا لدرجات الحرارة تتطابق مع المعدلات الصغرى للرطوبة، وتكون النتيجة رياح حارة شديدة الجفاف والتي تُعرف بالسموم. لاشك أن الجفاف الشديد الذي تتميز به هذه المنطقة له أهمية كبيرة وواضحة على النمط العمراني. ومن الخصائص المناخية المهمة أيضاً وجود أشعة الشمس شبه العمودية والتي تتراوح حرارتها من ٨١٣ إلى ٩٢٩ واط / متر مربع. إن التيارات الهوائية الناتجة من ارتفاع درجة الحرارة بالقرب من سطح الأرض يؤدي إلى رابع رملية خاصة خلال فترة الظهيرة. ونتيجة للانخفاض

الملحوظ في معدلات الرطوبة ووجود سماء صافية في معظم الأوقات، يكون هنالك تباين واضح في درجات الحرارة ليلاً ونهاراً خلال فصل الصيف. ونتيجة لسقوط أشعة الشمس المباشرة قد ترتفع درجة حرارة سطح الأرض إلى حوالي ٧٠ م في منتصف النهار، ونتيجة لفقدان الحرارة إلى الفضاء الخارجي أثناء الليل تنخفض درجة حرارة سطح الأرض إلى حوالي ١٥ م. إن التباين في درجة حرارة الهواء أقل من ذلك بكثير ويصل في معظم الأحيان إلى ٢٠ م. إن خاصيتي التباين في درجات الحرارة والانخفاض الواضح في معدلات الرطوبة لهما أهمية قصوى في تحديد الأسس التصميمية الملائمة لهذا المناخ. إن أسهل طريقة لإظهار البيانات المناخية على بياني خواص الهواء يكون بواسطة اثني عشر خطاً، كل خط يمثل شهر من شهور العام. نقطة البداية لكل خط يتم تحديدها بناءً على المتوسط الأدنى لدرجة الحرارة ومعدل الرطوبة في الصباح الباكر، في حين يكون تحديد نقطة النهاية بناءً على المتوسط الأعلى لدرجات الحرارة ومعدلات الرطوبة لوقت الظهيرة (Szokolay, 1986). إن المساحة التي تغطيها هذه الخطوط تعطي المؤشرات العامة للخصائص المناخية، فإن علاقة هذه الخطوط بالنسبة لمنطقة الراحة الحرارية ومجموع طولها الذي يقع داخل المنطقة تحتها أو فوقها يعكس حجم المشكلة المناخية. يوضح الجدول رقم (١، ١) معدلات الحرارة والرطوبة لمدينة الرياض والتي تم إدخالها على بياني خواص الهواء. إن بياني خواص الهواء الخاص بمدينة الرياض (الشكل ١، ٨) يعكس لنا حقيقة مهمة، وهي أن مناخ مدينة الرياض يغطي التقسيمات المناخية الثلاث وهي منطقة الراحة الحرارية، والمنطقة الباردة التي تتطلب التدفئة، والمنطقة الحارة التي تتطلب التبريد. إن الجزء الأكبر من الخطوط التي تمثل شهور يناير، وفبراير، وديسمبر يقع إلى يسار منطقة الراحة الحرارية. وهذا يعني أن معظم الفترات خلال هذه الشهور تقع ضمن المنطقة الشديدة البرودة، في حين أن الجزء الباقي منها يمر أسفل منطقة الراحة الحرارية. أما الخطوط التي تمثل مارس، وأبريل، وأكتوبر، ونوفمبر فإن جزءاً منها يقع إلى يسار منطقة الراحة الحرارية، وجزءاً مماثلاً يقع إلى اليمين من منطقة الراحة الحرارية (جدول ١، ١)، في حين أن الجزء المتبقي يمر بمنطقة الراحة الحرارية. وهذا يعني أن المناخ الحار خلال هذه الشهور يتضمن ثلاثة أقسام رئيسية؛ بارد، ومعتدل، وحار. أما الخطوط التي تمثل مايو، ويونية، ويولية، وأغسطس،



شكل (٨، ١). بياني خواص الهواء لمدينة الرياض.

وسبتمبر. فإن الجزء الأكبر منها يقع إلى يمين منطقة الراحة الحرارية وجزء صغير منها يمر بمنطقة الراحة الحرارية، والجزء الثالث يقع إلى اليسار منها وبذلك فإن هذه الفترة تتضمن الأقسام الثلاثة للمناخ الحار. وبشكل عام يمكن تلخيص أساسيات التصميم المناخي لمدينة الرياض كالتالي (Saeed, 1989):

١ - الفترة الباردة :- ديسمبر - يناير - فبراير

تتميز هذه الفترة بالانخفاض الواضح في درجة حرارة الهواء، والارتفاع الملحوظ في الرطوبة خاصة أثناء الليل، وهي بالتالي تتطلب التدفئة. أما أثناء النهار ترتفع درجة حرارة الهواء قليلا وتنخفض معدلات الرطوبة، وبالتالي تكون الفرصة متاحة للاستفادة من أشعة الشمس المباشرة في التدفئة. هنالك أيضا إمكانية تخزين الحرارة الناتجة من أشعة الشمس المباشرة بواسطة الحوائط السميكة، الماء، والحجارة... الخ. وذلك للاستفادة منها أثناء الليل البارد.

جدول رقم (١، ١). معدلات الحرارة والرطوبة لمدينة الرياض للفترة من ١٩٧٦ - ١٩٨١م

الشهور	المعدل الشهري لدرجات الحرارة		المعدل الشهري للرطوبة	
	القصى	الدنيا	القصى	الدنيا
يناير	٢٦	٢٠.٩	٩٧٪	١٧٪
فبراير	٢٩.٤	٥.٤	٩٠٪	١٢٪
مارس	٣٤.٥	٨.٧	٩١٪	٩٪
أبريل	٣٩.٢	١٤.٥	٨٨٪	٧٪
مايو	٤٢.٤	٢٠.١	٧٨٪	٦٪
يونية	٤٤.٥	٢٣.٧	٣٢٪	٤٪
يولية	٤٤.٧	٢٤.٤	٢٧٪	٥٪
أغسطس	٤٤.٨	٢٥.٧	٣٨٪	٥٪
سبتمبر	٤٢.٩	٢١.٣	٤٣٪	٥٪
أكتوبر	٣٧.٨	١٥.٥	٦٤٪	٨٪
نوفمبر	٣٢.٣	٩.٩	٨٤٪	٩٪
ديسمبر	٢٧.٧	٤.٢	٩٧٪	١٤٪

المصدر : مصلحة الأرصاد، قسم المناخ، الرياض (١٩٦٦ - ١٩٨١).

٢ - الفترة المعتدلة: مارس - أبريل - أكتوبر - نوفمبر

تُعتبر هذه الفترة معتدلة، حيث يتميز نهارها بارتفاع درجة الحرارة قليلاً، مع انخفاض واضح في معدلات الرطوبة، مما يتيح الاستفادة من التبريد بواسطة التبخر من المسطحات المائية، والمسطحات الخضراء، والنوافير. أما فترات الليل غالباً ما تكون معتدلة، وبذلك يمكن الاستفادة من التهوية الطبيعية.

٣ - الفترة الحارة: مايو - يونية - يولية - أغسطس - سبتمبر

تتميز هذه الفترة بالارتفاع الملحوظ في درجات الحرارة وانخفاض واضح في معدلات الرطوبة النسبية، خاصة أثناء النهار، وهي بالتالي تتطلب الاستعانة بالوسائل التصميمية المتاحة، كالأحواش، وملاقف الهواء، والمواد العازلة للحرارة، والتبريد بواسطة التبخر . . الخ. قبل اللجوء إلى الوسائل الميكانيكية.

الفصل الثاني

الهناخ والإنسان

- الاتزان الحراري ● تنظيم الحرارة ● اختلال الاتزان الحراري
- إحساس الإنسان بالحرارة ● الراحة الحرارية

(١، ٢) الاتزان الحراري Heat Balance

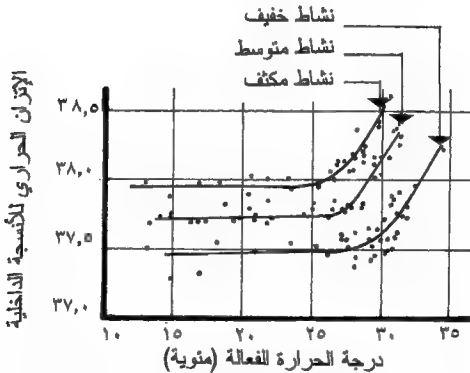
تشتمل أنشطة الحياة اليومية على العمل وما يرتبط به من جهد وإجهاد وراحة بمختلف مستوياتها. ويحتاج جسم الإنسان إلى فترات من الراحة والترفيه والنوم لكي يستعيد نشاطه بعد العمل الجاد. إذا تعرض الإنسان إلى إجهاد حراري thermal stress لمدة زمنية كبيرة فإن ذلك يؤدي إلى اعتلال صحته بل وربما إلى فقدانه للحياة نتيجة للبرودة الشديدة hypothermia أو لضربة الشمس heat stroke نتيجة للحرارة العالية. إن الحمل الحراري على الإنسان يكون نتيجة لعاملين أساسيين، العامل الأول هو الحمل الحراري الناتج عن عملية هضم الطعام metabolism، والعامل الثاني هو التبادل الحراري بين المناخ المحيط والإنسان (Robertshaw, 1963). إن معظم العمليات الكيموحيوية في أنسجة الجسم والعمل العضلي تحتاج إلى الطاقة التي يتحصل عليها الجسم نتيجة لعملية هضم الطعام. وعملية هضم الطعام وتفاعل نتائجها مع الأكسجين يوفر للجسم الطاقة التي يحتاجها للقيام بالنشاطات المختلفة مثل حركة الأعضاء والعضلات، والنشاطات غير الإرادية للأنسجة الداخلية وجريان الدم، والتنفس وإفرازات الغدد الداخلية وإفراز العرق ونمو الأنسجة. عندما يقوم الإنسان بعمل ما، يزداد معدل إنتاج الطاقة ليغطي احتياجات العمل. وبما أن كفاءة جسم الإنسان تُعتبر منخفضة نسبياً، فإن الطاقة التي يولدها الجسم غالباً ما تكون أكثر من كمية الطاقة الفعلية

التي يحتاجها لاداء ذلك النشاط ، وبالتالي يتحول فائض الطاقة إلى حرارة يستغلها الجسم في عملية الاتزان الحراري، ويتعين عليه التخلص منها إلى المناخ المحيط . وتعتبر كفاءة جسم الإنسان في حدود ٢٠٪، وهذا يعني أن جسم الإنسان يستغل فقط مايعادل ٢٠٪ من الطاقة التي ينتجها من أجل أداء نشاطاته المختلفة، بينما تتحول النسبة الباقية وهي حوالي ٨٠٪ إلى حرارة يتوجب على الجسم التخلص منها (Koenigsberger et al., 1973). ولقد حبا الله سبحانه وتعالى الإنسان بخصائص فسيولوجية تجعله يتأقلم ويعيش في كثير من المواقع ذات التباين الكبير والواضح في العناصر المناخية التي تؤثر على إحساس الإنسان بالحرارة، كالإشعاع، ودرجة حرارة الهواء، ونسبة الرطوبة وسرعة الهواء. فقد تأقلم الإنسان على المناخ البارد جدا كالمناخ القطبي في الإسكيمو، وتأقلم أيضا على المناخ الحار جدا كمناخ الصحاري الاستوائية. ورغم هذه الاختلافات الكبيرة فقد استطاع الإنسان أن يحتفظ بتوازنه الحراري ويقوم بنشاطاته اليومية. إن التوازن الحراري ضروري جدا لحياة الإنسان وللاحتفاظ بدرجة حرارة أنسجته الداخلية internal tissue temperature في حدود المعدل المطلوب وهو ٣٧,٢°م (Koenigsberger et al., 1973). يستطيع الإنسان الاحتفاظ باتزانه الحراري بواسطة نظام خاص يعرف بجهاز تنظيم الحرارة thermoregulatory system.

(٢, ٢) تنظيم الحرارة Thermoregulation

من أجل أن يظل الإنسان على قيد الحياة يجب عليه أن يحتفظ بدرجة حرارة أنسجته الداخلية في حدود ٣٧,٢°م. ولكي يتسنى لجسم الإنسان الاحتفاظ بدرجة حرارة أنسجته الداخلية في حدود هذا النطاق الضيق، لابد له من جهاز يقوم بعملية تنظيم التبادل الحراري بينه والمناخ المحيط به. لقد خص الله سبحانه وتعالى جسم الإنسان بمقدرة فائقة تمكنه من التحكم في اتزانه الحراري مع المناخ المحيط به، والمحافظة على درجة حرارة أنسجته الداخلية في نطاق الحد المطلوب للحياة رغم التباين الكبير الذي يحدث في المناخ المحيط. إن نظام التحكم في الاتزان الحراري الموجود داخل جسم الإنسان يتميز بدقة فائقة وقدرة متناهية. وإلى يومنا هذا لم

يتوصل العلم البشري إلى التفاصيل الدقيقة عن الكيفية التي يعمل بها نظام التحكم الحراري الموجود داخل الجسم، والمعلومات المتوافرة لدينا تُعتبر معلومات أولية ولا تعكس كل الحقيقة. إن جهاز التحكم الحراري لدى الإنسان hypothalamus والموجود ضمن أنسجة المخ، له الدور الأساسي في تنظيم معظم النشاطات المهمة كتناول الطعام، والإشراف على عملية اتزان الماء داخل الجسم، وتنظيم الحرارة... الخ (McIntyre, 1980). عند حدوث خلل في الاتزان الحراري نتيجة لارتفاع درجة حرارة المناخ المحيط، يقوم القسم الخاص بالتحكم في الحرارة بإرسال إشارات إلى نظام فقدان الحرارة داخل جسم الإنسان، والذي يتكون من حركة الدم وغدد التعرق لزيادة معدل فقدان الحرارة إلى المناخ المحيط. يوضح الشكل رقم (٢، ١) العلاقة بين درجة الحرارة الفعالة للمناخ المحيط ودرجة حرارة الأنسجة الداخلية للإنسان.



شكل رقم (٢، ١). درجة حرارة الأنسجة الداخلية لجسم الإنسان وعلاقتها بدرجة حرارة المناخ المحيط.

المصدر: McIntyre (1980). p. 107

(١، ٢، ٢) التبادل الحراري بواسطة الإشعاع

ينقسم الإشعاع إلى قسمين، القسم الأول هو الإشعاع الشمسي solar radiation والذي يعرف أحيانا بالأشعة ذات الموجات القصيرة short wave radiation والذي يأتي أساسا من الشمس، وقد يصل معدله إلى ٨٠٠ واط/متر مربع في فترة الظهيرة، في حين أن إنتاج الحرارة داخل جسم الإنسان نتيجة لعملية هضم الطعام تكون في حدود ٦٠ واط / متر مربع. والقسم الثاني هو الإشعاع غير المباشر أو الأشعة ذات الموجات الطويلة long wave radiation. يتحكم لون الجسم الخارجي في تحديد النسبة التي يمتصها من أشعة الشمس المباشرة، حيث يزيد معدل امتصاص اللون الأسود بحوالي ٢٠٪ مقارنة بمعدل امتصاص اللون الأبيض في حين أن تفاعل الأجسام مع الأشعة ذات الموجات الطويلة لا يتأثر باللون الخارجي للجسم (Robertshaw, 1983). يكتسب جسم الإنسان الحرارة نتيجة لتعرضه لأشعة الشمس المباشرة في حين أنه قد يكتسب أو يفقد الحرارة نتيجة للتبادل الحراري بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة. يكتسب جسم الإنسان الحرارة بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة عندما تكون درجة حرارة الأسطح المواجهة له أعلى من درجة حرارته أو درجة حرارة ملابسه الخارجية. بينما يفقد جسم الإنسان الحرارة بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة عندما تكون درجة حرارته، أو درجة حرارة ملابسه الخارجية أعلى من درجة حرارة الأسطح المواجهة له. إن معدل التبادل الحراري بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة بين الإنسان والمناخ المحيط به يعتمد على درجة حرارة جسم الإنسان ومتوسط درجة حرارة الأسطح المواجهة له ومعامل الانبعاثية لجسم الإنسان، ويمكن حسابه بواسطة المعادلة التالية:

$$(١، ٢) \quad R_e = \varepsilon \times h_r \times f_{cl} \times f_{eff} (T_{cl} - T_r)$$

حيث

R_e = معدل التبادل الحراري بين جسم الإنسان والمناخ (واط/متر مربع).

ε = معامل انبعاثية جسم الإنسان.

h_r = معامل الإشعاع في درجة الحرارة العادية والذي يعادل $4.6 (1+0.01 T_r)$ (واط/متر مربع - درجة مئوية مطلقة).

f_{cl} = معامل العزل الحراري للملابس.

f_{eff} = النسبة الفعالة من جسم الإنسان والتي تؤثر على عملية التبادل الحراري بين الإنسان والمناخ المحيط به بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة.

T_{cl} = درجة حرارة الملابس الخارجية (درجة مئوية).
 T_p = متوسط درجة الحرارة الإشعاعية للأسطح المحيطة بجسم الإنسان (درجة مئوية، مطلقة).

(٢، ٢، ٢) Convection heat exchange بواسطة الحمل

تتم عملية التبادل الحراري بين الإنسان والمناخ المحيط به بواسطة تيارات الحمل convection currents. عندما تلامس جزيئات الهواء السطح الخارجي لجسم الإنسان أو تلامس ملابسه الخارجية، يتم التبادل الحراري بين الهواء من جهة وجسم الإنسان وملابسه الخارجية من جهة أخرى. يكتسب الإنسان الحرارة نتيجة لاحتكاكه بالهواء المحيط به إذا كانت درجة حرارة الهواء أعلى من درجة حرارة السطح الخارجي لجسم الإنسان، ويفقد الإنسان الحرارة إذا كانت درجة حرارة الهواء أقل من درجة حرارة السطح الخارجي لجسم الإنسان. وعندما تكون درجة حرارة جسم الإنسان أعلى من درجة حرارة الهواء المحيط به، تلامس جزيئات الهواء جسم الإنسان فتكتسب حرارة وتمتد وتصبح أقل كثافة فتندفع إلى أعلى وتأخذ معها كمية من الحرارة. وتستمر حركة الهواء على هذا المنوال ويطلق عليها اسم تيارات الحمل الطبيعي natural convection. أما إذا كانت هناك وسائل ميكانيكية كالمراوح أو مراوح سحب الهواء التي تساعد على زيادة سرعة الهواء حول الجسم، فإن التيار الهوائي الذي ينشأ نتيجة لهذه الوسائل الميكانيكية يطلق عليه اسم تيار الحمل القسري forced convection. ومقارنة بقوانين التبادل الحراري بواسطة الإشعاع الواضحة والمدروسة، فإن معدل التبادل الحراري بواسطة تيارات الحمل تُعتبر ضعيفة ومعقدة. وقد قام العديد من الباحثين في هذا المجال بمحاولة التوصل إلى معادلة يتم بواسطتها تحديد معدل فقدان الحرارة بواسطة تيارات الحمل (Carroll & Visser, 1966; Mitchell et al., 1969; Kerslake, 1972; Nishi & Gagge, 1970 and Kuehn et al., 1970).

ويعتبر المعادلة الحسابية التالية هي الأنسب (McIntyre, 1980):

$$C = h_c (T_{cl} - T_g) \quad (٢، ٢)$$

= معدل فقدان الحرارة لكل متر مربع نتيجة لتيارات الحمل (واط/متر مربع - درجة مئوية).

h_c = معامل انتقال الحرارة بواسطة تيارات الحمل (واط/متر مربع).
 T_{cl} = متوسط درجة حرارة السطح الخارجي للملابس (درجة مئوية).
 T_a = متوسط درجة حرارة الهواء المحيط بالإنسان (درجة مئوية).
 أما معامل انتقال الحرارة بواسطة تيارات الحمل فيمكن تقديره بواسطة
 المعادلة التالية (Kerslake, 1972):

$$h_c = 8.3 \sqrt{v} \quad (2, 3)$$

حيث

$$v = \text{سرعة الهواء (متر/ثانية)}.$$

(٢، ٢، ٣) فقدان الحرارة بواسطة التبخر Evaporative heat loss

غالباً ما يضطر الإنسان القيام ببعض الأعمال التي تحتاج إلى مجهود عضلي شاق كالعمل في المصانع، أو لربما يكون مسكنه في منطقة من مناطق المناخ الاستوائي أو المداري فيتعرض إلى درجات حرارة عالية. عندما يكون المناخ المحيط بالإنسان معتدلاً، فإنه يستطيع الحفاظ على اتزانه الحراري من خلال التبادل الحراري بواسطة تيارات الحمل والأشعة ذات الموجات الطويلة. أما عندما يتعرض جسم الإنسان إلى ضغط حراري عالٍ، ويتعذر عليه المحافظة على اتزانه الحراري، فإنه يلجأ إلى وسيلة فقدان الحرارة بواسطة التبخر. تتم عملية التبخر من جسم الإنسان كالآتي:

(أ) تبخر العرق من السطح الخارجي لجسم الإنسان.

(ب) تبخر ذرات الماء من الرئة أثناء عملية الزفير.

(أ) تبخر العرق Sweat evaporation

يحتوي جسم الإنسان على العديد من الغدد العرقية والتي تقوم بإفراز العرق وهي توجد في الجلد. تقوم هذه الغدد بامتصاص الماء والأملاح من الدم وتنشره على سطح الجسم في شكل عرق. وعندما يتبخر العرق من على سطح الجلد فإنه يحتاج إلى طاقة حرارية تعرف باسم الطاقة الحرارية الكامنة للتبخر latent heat of vaporisation، والتي قد يتحصل على جزء منها من الجسم، وبالتالي تنخفض درجة حرارته. ونتيجة لانخفاض درجة حرارة الجلد تنخفض

درجة حرارة الدم الذي يجري في الشعيرات الدموية الموجودة في الجلد. ويعود الدم إلى داخل الجسم، وبالتالي يساعد في خفض درجة حرارة الأنسجة الداخلية internal tissue temperature. إن العامل الرئيسي الذي يحدد معدل فقدان الحرارة من جسم الإنسان هو معدل تبخر العرق وليس معدل إفراز العرق. يرتفع معدل فقدان الحرارة عندما يكون معدل التبخر أعلى من معدل إفراز العرق، ويقل معدل فقدان الحرارة من جسم الإنسان عندما يكون معدل إفراز العرق أعلى من معدل التبخر. إن العرق الذي يسقط بعيداً عن جسم الإنسان لا يكون له أي مفعول أو أثر في فقدان الحرارة من الجسم. أما العرق الذي يلتصق بالملابس ويتبخر، غالباً ما يتحصل على الحرارة المطلوبة للتبخير من الملابس نفسها وبالتالي يقل مفعول انخفاض الحرارة الذي قد يستفيد منه الجسم. ويمكن حساب كمية الحرارة المفقودة من جسم الإنسان نتيجة لتبخير العرق بواسطة المعادلة التالية (McIntyre, 1980):

$$E_{\max} = h_e (P_{\text{SSR}} - P_a) \quad (٢, ٤)$$

حيث

E_{\max} = كمية الحرارة المفقودة (واط/ متر مربع).
 h_e = معامل انتقال الحرارة بواسطة التبخر (واط/ متر مربع-مليار).
 P_{SSR} = ضغط بخار الماء في مرحلة التشبع عندما تكون درجة حرارة الهواء تعادل درجة حرارة سطح جسم الإنسان (مليار).
 P_a = الضغط الجوي (مليار).

ويتم حساب معامل انتقال الحرارة الخاص بالتبخير بواسطة المعادلة التالية :-

$$h_e = 13.7 \sqrt{v} \quad (٢, ٥)$$

حيث

v = سرعة الهواء (متر/ ثانية).

(ب) تبخر ذرات الماء من الرئة Respiration heat loss

تُعتبر عملية تبخر الماء من الرئة وسيلة من وسائل فقدان الحرارة بواسطة التبخر، ولكنها لا تكون بنفس الكفاءة والفعالية التي تتميز بها عملية تبخر العرق من سطح الجسم. إن دخول الهواء إلى الرئة أثناء عملية الشهيق يؤدي إلى تشبع الهواء بالماء وهو في نفس درجة حرارة الأنسجة الداخلية للجسم. وعند الزفير تبخر ذرات الماء،

وتؤدي إلى انخفاض في درجة حرارة الهواء ومن ثمّ تنخفض درجة حرارة الأنسجة الداخلية للرئة. ولقد قام بعض الباحثين بمحاولات عديدة لتحديد معدل فقدان الحرارة بواسطة التنفس (McCutchan & Taylor, 1950 and Aikas & Piiron, 1963)، وتمّ التوصل إلى معادلتين لتحديد معدل فقدان الحرارة. المعادلة الأولى لتحديد معدل فقدان الحرارة المحسوسة وهي كالآتي (Fanger, 1972):

$$C_{res} = 0.0014 M (34 - T_a) \quad (٢, ٦)$$

حيث

C_{res} = معدل فقدان الحرارة المحسوسة لكل متر مربع من جسم الإنسان (واط/متر مربع).

M = الحرارة الفائضة نتيجة لعملية هضم الطعام (واط/متر مربع).

T_a = متوسط درجة حرارة الهواء المحيط بالإنسان (درجة مئوية).

أما المعادلة الثانية والتي تحدد معدل فقدان الحرارة الكامنة أثناء عملية التنفس فهي كالآتي (Fanger, 1972):

$$E_{res} = 0.0017 M (58.6 - P_a) \quad (٢, ٧)$$

حيث

E_{res} = معدل فقدان الحرارة الكامنة لكل متر مربع من جسم الإنسان (واط/متر مربع).

P_a = ضغط بخار الماء في الهواء المحيط (مليبار).

بما أن المهمة الأساسية لجهاز تنظيم الحرارة هو الحفاظ على درجة حرارة الأنسجة الداخلية في النطاق المطلوب، يمكن الافتراض أنه عندما يتعرض الإنسان للمناخ المعتدل لفترة طويلة وهو يؤدي النشاط نفسه، فهو في هذه الحالة يكون في مرحلة الاتزان الحراري. وهذا يعني أن معدل إنتاج الطاقة الحرارية يتساوى مع معدل فقدان الحرارة إلى المناخ المحيط.

(٢, ٣) اختلال الإيزان الحراري

عندما يتعرض الإنسان للحرارة الشديدة لفترة طويلة، قد يختل توازنه وينشّل ذهنه، وينهار تماماً ويصاب بضربة الشمس heat stroke وهي المرحلة التي تصل فيها درجة حرارة الأنسجة الداخلية للجسم إلى مستوى تختل فيها نشاطاته ويصعب عليه تفادي الانهيار الكامل الذي قد يتبعه فقدانه للحياة (Shibolet)

(*et al.*, 1976). هناك صعوبات عديدة تجعل من المستحيل تحديد درجة حرارة الأنسجة الداخلية التي يحدث عندها الانهيار الكامل، ولكن بعض الباحثين قاموا ببعض الدراسات والتجارب الميدانية، مثال ذلك ضربات الشمس التي أصابت بعض الحجاج بمكة المكرمة عام ١٩٨٣ م (Attia and Khojali, 1983). وقد أثبتت هذه الدراسات أن بعض الحجاج الذين تم علاجهم بعد إصابتهم من ضربة الشمس كانت درجة حرارة أنسجتهم الداخلية قد وصلت إلى ٤٦,٥ م. إن انعدام التأقلم *acclimatization* على المناخ الحار قد يسبب عدم المقدرة على إفراز العرق بالمعدل المطلوب في حالة تعرض الإنسان إلى درجة حرارة مرتفعة، وبذلك يفقد الجسم فرصة الاستفادة الكاملة من التبريد بواسطة التبخر. لذلك فإن الأشخاص الذين يعيشون في المناطق ذات المناخ البارد، أو أولئك الذين يقضون فترات طويلة من حياتهم اليومية في مناخ يعتمد على التكيف الاصطناعي، يتأثرون بضربة الشمس أكثر من غيرهم. وكذلك عندما يتعرض الإنسان للبرودة الشديدة *hypothermia* وتنخفض درجة حرارة أنسجته الداخلية إلى معدلات خطيرة تصل إلى مرحلة اختلال الاتزان الحراري، قد يفقد السيطرة على نشاطه وذهنه ويُنشَل تفكيره ويفقد حياته، كما في حالة ضربة الشمس. كذلك يصعب تحديد درجة حرارة الأنسجة الداخلية التي تؤدي إلى الانهيار التام نتيجة للبرودة الشديدة. ولكن هناك بعض الحوادث المتفرقة التي تم تسجيلها والتي فقد فيها بعض الأشخاص حياتهم نتيجة لتعرضهم للبرودة الشديدة. من ناحية عامة يُعتبر مفعول البرودة الشديدة أقل خطورة من مفعول الحرارة الشديدة. وذلك يرجع إلى عاملين مهمين، العامل الأول الوقت الذي تحتاج إليه البرودة الشديدة لكي تؤثر على جسم الإنسان، والعامل الثاني إمكانيات المقاومة المتوافرة لدى جسم الإنسان للبرودة الشديدة مقارنة بالحرارة الشديدة. من المعروف أن الانهيار التام نتيجة للبرودة الشديدة يحدث عندما تنخفض درجة حرارة الأنسجة الداخلية إلى معدلات أقل من ٣٥ م (Kealing, 1986). وعندما تنخفض درجة الحرارة من ٣٥ إلى ٣٢ م يتفاعل الجسم معها بواسطة الارتعاش *shivering*، وأي انخفاض آخر قد يؤدي إلى هبوط عام في ضربات القلب ومعدل التنفس، وبعدها يحدث إغماء كامل وقد يفقد الإنسان حياته. ولقد أُجريت العديد من التجارب على بعض المتطوعين تحت الإشراف الكامل والعناية المركزة والتي تم بموجبها خفض درجة

حرارة الأنسجة الداخلية إلى حوالي ١٨م، وظل الشخص المعني في غيبوبة كاملة لفترة عشر ساعات وقد عاد إليه وعيه الكامل عندما ارتفعت درجة حرارته إلى ٢٨م (Dill and Forbes, 1941).

(٤, ٢) إحساس الإنسان بالحرارة

لقد قام الكثير من الباحثين في مجال دراسة تفاعل الإنسان مع المناخ الحراري بالعديد من الدراسات والتجارب الميدانية بهدف وضع أسس علمية لدراسة وتقويم إحساس الإنسان بالحرارة. ونتيجة لهذه الدراسات فقد تم التوصل إلى العديد من المداخل والمعايير والمؤشرات في هذا الصدد نذكر منها:

(أ) معدل التعرق المتوقع في أربع ساعات

(McAriel *et al.*, 1946/1947) the predicted 4 - hours sweat rate

(ب) معيار الإجهاد الناتج من ارتفاع درجة الحرارة

(Belding and Hatch, 1955) the heat stress index

(ج) معيار الإجهاد الحراري (Givoni, 1963) the index of thermal stress

(د) معيار درجة الحرارة المتكافئة

(Dufton, 1936) the equivalent temperature index

(هـ) معيار درجة الحرارة الفعالة

(Bedford, 1936) effective temperature index

(و) معيار درجة الحرارة الفعالة المصححة

(Givoni, 1963) corrected effective temperature index

(ز) محصلة درجة الحرارة (Missenard, 1959) resultant temperature

(ح) معيار درجة الحرارة الفعالة القياسية

(Gagge *et al.*, 1941 and Nishi & Gagge, 1974) standard effective temperature index

(ط) المعيار الشخصي للحرارة

(McIntyre, 1980) subjective temperature index

(ي) معيار الراحة الحرارية في المناطق الاستوائية

(Webb, 1960) the equatorial comfort index

ومن المعايير المهمة التي تستوجب التطرق لها المعايير التالية :

- ١ - معيار درجة الحرارة الفعّالة.
- ٢ - معيار درجة الحرارة الفعّالة المصححة.
- ٣ - محصلة درجة الحرارة.
- ٤ - معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية.
- ٥ - معيار درجة الحرارة المتكافئة.

(١، ٤، ٢) معيار درجة الحرارة الفعّالة

عند ظهور نظام التكيف الاصطناعي للمباني في الولايات المتحدة الأمريكية كانت هناك ضرورة ملحة لدراسة أثر الرطوبة على إحساس الإنسان بالحرارة (McIntyre, 1980). هذه الضرورة جعلت جمعية مهندسي التدفئة والتبريد الأمريكية ASHRAE تفكر في إنشاء معمل خاص بها لإجراء الدراسات والتجارب في مجال التكيف. وفعلاً تم إنشاء المعمل في مدينة بتسبيرج (الولايات المتحدة الأمريكية) في عام ١٩١٩م. وكان من أوائل إنجازات هذا المعمل التوصل إلى بياني لقياس إحساس الإنسان بالحرارة أطلق عليه اسم معيار درجة الحرارة الفعّالة effective temperature index. لقد احتوى المعمل على غرفتين ملتصقتين تماماً وبهما باب يصلهما ببعض. كان الهدف الأساسي من التجارب التي أجريت في المرحلة الأولى، هو تحديد مستويات الراحة الحرارية المتماثلة conditions of equal comfort، مع الأخذ في الاعتبار عنصرين فقط من عناصر المناخ هما درجة حرارة الهواء ونسبة الرطوبة. وضعت الغرفة الأولى في درجة حرارة ونسبة رطوبة ثابتة لا تتغير، بينما جعلت الغرفة الثانية في درجة حرارة ونسبة رطوبة بحيث يكون الناتج الكلي للمناخ أبرد من الغرفة الأولى بقليل. وبعد ذلك تقوم أجهزة التحكم في الغرفة الثانية برفع درجة الحرارة المبتلة wet - bulb temperature ودرجة الحرارة الجافة dry - bulb temperature تدريجياً بينما يقوم الأشخاص المتطوعون بالتجول مابين الغرفة الأولى والثانية، وفي كل مرة يسجلون انطباعاتهم عن إحساسهم بالمناخ الحار ويحددون الغرفة الأكثر دفئاً من الأخرى. وتستمر التجربة على هذا المنوال إلى أن نجوء اللحظة التي تكون فيها الغرفة الثانية متشابهة تماماً مع الغرفة الأولى من حيث السدفء وإلى أن

تتخطاها بقليل . وبعد إجراء ٤٤٠ مجموعة من التجارب التي تفاوتت فيها درجة الحرارة من الصفر إلى ٦٩ م تم وضع المخطط البياني الخاص بدرجة الحرارة الفعالة (شكل رقم ٣، ٢). عندما تكون سرعة الهواء منخفضة ولا تتعدى ١٥ ، ٠ متر/ ثانية يمكن تقدير درجة الحرارة الفعالة بواسطة المعادلة التالية (McIntyre, 1980):

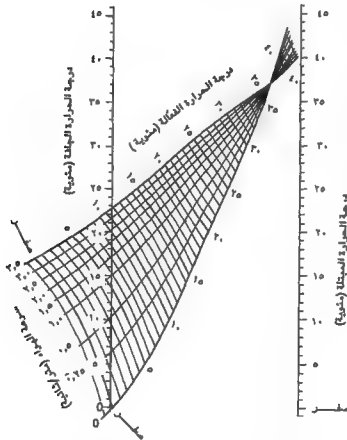
$$ET = (0.944 T_a + 0.056 T_{wb}) / [1 + 0.022 (T_a - T_{wb})]$$

حيث

ET = درجة الحرارة الفعالة (درجة مئوية).

T_a = درجة الحرارة الجافة (درجة مئوية).

T_{wb} = درجة الحرارة المبتلة (درجة مئوية).



شكل رقم (٣، ٢). بياني درجة الحرارة الفعالة.

المصدر: Koenigsberger (1973). p. 55

(٢، ٤، ٢) معيار درجة الحرارة الفعالة المصححة

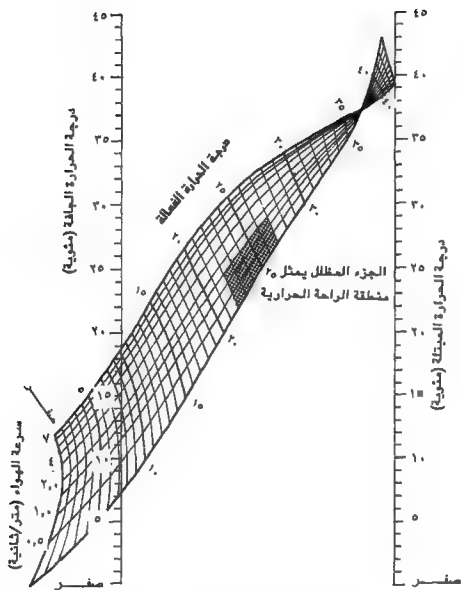
تمّ في عام ١٩٢٤ - ١٩٢٥ م إضافة سرعة الهواء ومعامل العزل الحراري للملابس clo-value كعناصر أساسية مع درجة الحرارة الجافة ودرجة الحرارة المبتلة على التجارب الخاصة بمعيار درجة الحرارة الفعالة. وفي عام ١٩٣٢ م تمّ إحلال ميزان الحرارة الكروي globe thermometer محل ميزان الحرارة الجافة. وميزان الحرارة الكروي هو جهاز يستعمل لقياس درجة الحرارة الإشعاعية، ويتكون من ميزان الحرارة العادي الذي يعتمد على خصائص الزئبق يتم وضعه داخل كرة نحاسية بقطر ١٥٠ سم، مدهونة باللون الأسود. هذا الجهاز يقيس درجة الحرارة الإشعاعية خلال الخمسة عشر دقيقة الأولى، وبعد هذه الفترة فإن درجة الحرارة التي يسجلها الجهاز ترمز إلى المفعول المشترك لدرجة حرارة الهواء ودرجة حرارة الأسطح المواجهة للجهاز (Koenigsberger, 1973). ونتيجة لهذه الإضافات تم وضع المخطط البياني الثاني الذي أطلق عليه اسم معيار درجة الحرارة الفعالة المصححة corrected effective temperature index (الشكل رقم ٢، ٤). وقد انتشر استعمال معياري درجة الحرارة الفعالة ودرجة الحرارة الفعالة المصححة انتشارا واسعا على الرغم من المآخذ عليهما إذ يقول بعض الباحثين أنهما يبالغان في أهمية الرطوبة وأثرها على الإحساس الحراري عندما تكون درجة الحرارة منخفضة، ويقللان من أهميتها عندما تكون درجة الحرارة مرتفعة (Givoni, 1981).

(٢، ٤، ٣) محصلة درجة الحرارة

إن معيار محصلة درجة الحرارة والذي ظهر في عام ١٩٣١ م، وتم تطويره في عام ١٩٤٨ م، يأخذ في الاعتبار ثلاثة من العناصر المهمة، وهي درجة الحرارة الجافة، ودرجة الحرارة المبتلة بالإضافة إلى مفعول التبادل الحراري بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة، وتم وضع المخطط البياني الخاص بمحصلة درجة الحرارة كما هو واضح في الشكل (رقم ٢، ٥). وتنقسم درجة الحرارة الناتجة إلى قسمين، القسم الأول خاص بتقدير محصلة درجة الحرارة للبصيلة الجافة بواسطة المعادلة التالية:

(٢، ٩)

$$T_{res} = 0.47 T_a + 0.53 T_r$$



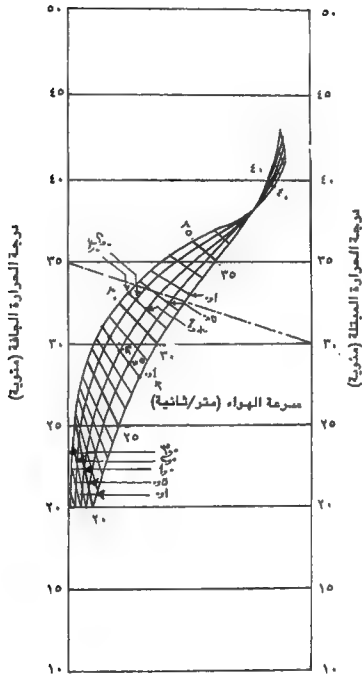
شكل (٤، ٢). بياني درجة الحرارة الفعالة المصححة.

حيث

$$T_{res} = \text{محسلة درجة الحرارة الجافة (درجة مئوية).}$$

$$T_a = \text{درجة الحرارة الجافة (درجة مئوية).}$$

$$T_r = \text{متوسط درجة الحرارة الإشعاعية (درجة مئوية).}$$



شكل (٥، ٢). بياني محصلة درجة الحرارة.

المصدر: McIntyre (1980), p. 168

أما القسم الثاني فهو خاص بتقدير محصلة درجة الحرارة للبصيلة المتبلّة بواسطة المعادلة التالية :

$$T_{res} (wet) = 0.47 T_a + 0.53 T_r - 0.28 (P_{sg} - H_{rel} \times P_{sa}) \quad (٢, ١٠)$$

حيث

$$T_{res} (wet) = \text{محصلة درجة الحرارة المتبلّة (درجة مئوية).}$$

$$P_{sg} = \text{ضغط بخار الماء في مرحلة التشبع عند درجة حرارة البصيلة الكروية } T_g \text{ (مليبار).}$$

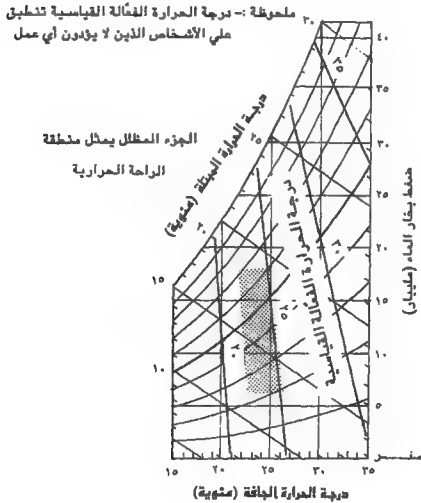
$$H_{rel} = \text{الرطوبة النسبية (نسبة مئوية).}$$

$$P_{sa} = \text{الضغط الجوي للهواء المحيط في مرحلة التشبع (مليبار).}$$

(٢, ٤, ٤) معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية

من العناصر الرئيسية التي اركز عليها معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية مستوى تغطية العرق لجسم الإنسان ومتوسط درجة حرارة الجلد، (Gagge *et al.*, 1941 and Nishi & Gagge, 1974) وقد تم اعتماد هذا المعيار الجديد بواسطة جمعية مهندسي التدفئة والتبريد والتكييف الأمريكية وتم وضع البياني الخاص بها كما هو واضح في الشكل (رقم ٢, ٦). اعتمدت التجارب على الاشخاص الجالسين في وضع مريح ويرتدون ملابس خفيفة. على سبيل المثال إذا كانت الرطوبة النسبية = ٥٠٪، ودرجة الحرارة الجافة = ٢٤°م، في هذه الحالة يكون معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية أيضا ٢٤°م. وفي حالة تغيير نوع الملابس فإن معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية سوف يتغير أيضا، على الرغم من أن درجة الحرارة الجافة لاتزال ثابتة ولم تتغير وذلك لأن إحساس الشخص بالحرارة قد تغير نتيجة للاختلاف في معامل العزل الحراري للملابس. مثلا إذا خلع الشخص ملابسه الخفيفة يكون معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية الآن ٢٠°م في حين أن درجة الحرارة الجافة مازالت ٢٤°م. يُعتبر معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية نظاما شاملاً ودقيقا لتقويم الإحساس الحراري لأنه يأخذ في الاعتبار العوامل

الرئيسية التي تؤثر على إحساس الإنسان بالحرارة مثل معامل العزل الحراري للملابس التي يرتديها، النشاط الذي يمارسه، إضافة للعناصر المناخية الأخرى كدرجة حرارة الهواء، وسرعة الهواء، والرطوبة النسبية ومفعول التبادل الحراري بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة.



شكل رقم (٦، ٢). بياني درجة الحرارة الفعالة القياسية.

المصدر : McIntyre (1980). p. 168.

(٢, ٤, ٥) معيار درجة الحرارة المتكافئة

قام دفتون Dufton بالتعاون مع وحدة أبحاث المباني بالملجنا بتطوير جهاز للتحكم في المناخ الداخلي. تلخص مهمة هذا الجهاز في التحكم في المناخ المحيط بما يستوفي متطلبات الراحة الحرارية على الرغم من المتغيرات التي قد تحدث في درجة حرارة الهواء، وسرعة الهواء، ومتوسط درجة الحرارة الإشعاعية (Dufton, 1936). إن جهاز التحكم الحراري قد تم تطويره استنادا على معيار الراحة الحرارية المقترح بواسطة وحدة أبحاث المباني والذي يفترض أن معدل الإنتاج الحراري للإنسان نتيجة للتفاعل الحيوي metabolic heat production يساوي ٧٥ واط لكل متر مربع عندما يكون معامل العزل الحراري للملابس clo - value = ١, ١ ودرجة حرارة الهواء ١٨م وسرعة الهواء منخفضة دون ٠, ٥ متر/ ثانية. وقد طور دفتون هذه النظرية ووضعها في شكل معيار لتحديد مدى إحساس الإنسان بالمناخ المحيط. وانطلاقا من هذه التجارب قام بدفورد Bedford بالعديد من الدراسات الميدانية حول طبيعة المناخ الحراري داخل المصانع وتوصل إلى ما يعرف الآن بدرجة الحرارة المتكافئة وقد عبر عنها بواسطة المعادلة التالية (Bedford, 1936):

$$(٢, ١١) \quad T_{eq} = 0.522 T_a + 0.478 T_r - 0.2 \sqrt{v} (37.8 - T_a)$$

حيث

$$T_{eq} = \text{درجة الحرارة المتكافئة (درجة مئوية).}$$

$$T_a = \text{درجة الحرارة الجافة (درجة مئوية).}$$

$$T_r = \text{متوسط درجة الحرارة الإشعاعية (درجة مئوية).}$$

$$v = \text{سرعة الهواء (متر/ ثانية).}$$

وتعتبر معادلة درجة الحرارة المتكافئة محاولة تجريبية نظرية ويمكن تطبيقها فقط على الحالات المشابهة للظروف والمتغيرات المناخية التي تمت فيها التجارب العملية.

(٢, ٥) الراحة الحرارية

(٢, ٥, ١) نطاق الراحة الحرارية The comfort zone

يتفاعل الإنسان مع المناخ الحراري، ويقوم جهاز تنظيم الحرارة المكوّن من حركة الدم وإفراز العرق والرعدة... الخ بالمحافظة على الاتزان الحراري، وبالتالي الاحتفاظ بدرجة حرارة الأنسجة الداخلية في المستوى المطلوب وهو ٣٧,٢ م. إنّ الاتزان الحراري ضروري لحياة الإنسان، ولكنه وحده ليس كافياً لتحقيق الراحة الحرارية. إن جسم الإنسان يستطيع أن يكون في حالة اتزان حراري مع المناخ المحيط به ولكن بشيء من الإجهاد لبعض عناصر جهاز تنظيم الحرارة، مثل الارتفاع الملموس في نبضات القلب التي تؤدي إلى زيادة في سرعة جريان الدم، أو إلى إفراز كميات كبيرة من العرق في حالة المناخ الحار، أو إلى القشعريرة في حالة المناخ البارد. وبالتالي يمكن تعريف نطاق الراحة الحرارية بأنها الفترة التي يشعر فيها الإنسان وبكل أحاسيسه بالرضا التام بالبيئة المحيطة به (ASHRAE, 1966). إن نطاق الراحة الحرارية comfort zone هو عبارة عن مجموعة مؤلفة من درجات حرارة الهواء، ودرجات الحرارة الإشعاعية، ودرجات الرطوبة النسبية، وسرعة الهواء التي يشعر أثناءها غالبية الناس بالراحة التامة والرضا الكامل، وانعدام الشعور بالسخونة أو البرودة. إنه ذلك الشعور والإحساس الذي يتعذر فيه تحديد ما إذا كان المناخ بارداً بعض الشيء أو دافئاً إلى حد ما. هذا النطاق أيضاً يُعرف بالنطاق الحراري المحايد لنوعية محددة من الأشخاص على حسب تأقلمهم، ونوعية الملابس التي يرتدونها، والنشاط الذي يمارسونه. إن منطقة الراحة الحرارية هي فترة بسيطة جداً ضمن فترة الاتزان الحراري وفي حدود ضيقة من تفاعل مكونات وتركيبات العناصر المناخية التي تؤثر على التبادل الحراري بين المناخ والإنسان. إن تحديد منطقة الراحة الحرارية بالنسبة لشخص ما داخل فراغ يعتمد أساساً على عدة عناصر، منها ما يتعلق بالنشاط الذي يؤديه الإنسان، و معامل العزل الحراري للملابس التي يرتديها،

والبعض الآخر يتعلق بمكونات المناخ الحراري؛ كدرجة حرارة الهواء، وسرعة الهواء، ونسبة الرطوبة، ومتوسط درجة الحرارة الإشعاعية للمسطحات المحيطة بالفراغ. لقد قام عدد كبير من الباحثين والاختصاصيين في هذا المجال بالعديد من الدراسات القيمة والتجارب الميدانية والمعملية التي كان الهدف منها تحديد منطقة الراحة الحرارية. ففي عام ١٩٩٠م قام درايزديل Drysdale بإجراء بعض الدراسات في أستراليا، وخلص إلى أن درجة الحرارة المثالية للراحة الحرارية للإنسان هي ٢٣,٧°م وأن الحد الأعلى لمنطقة الراحة الحرارية هو ٢٨,٩°م (Drysdale, 1950). أما إليس Eliss فقد أجرى بحثه في المناطق الاستوائية عام ١٩٥٥م، ووجد أن أكثر من ٨٠٪ من الأشخاص الذين استعان بهم في تحديد منطقة الراحة الحرارية ذكروا في الاستبيان أنهم مرتاحون تماماً أو مرتاحون مع إحساس بسيط بالدفء أو مرتاحون مع إحساس بسيط بالبرودة عندما كانت درجة حرارة الهواء = ٢٦°م (Eliss, 1952). وفي عام ١٩٥٥م قام أمبلر Ambler بمحاولة لتحديد منطقة الراحة الحرارية في نيجيريا مستعملاً معيار درجة الحرارة الفعالة (Ambler, 1955). وكان من أهم الاستنتاجات التي توصل إليها أمبلر بالنسبة للأشخاص الأوروبيين، والذين لا يمارسون أي عمل شاق، يكون الحد الأعلى لمنطقة الراحة الحرارية ٢٦,٥°م (فعالة)، في حين أن الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية هو ٢٣°م (فعالة). وفي عام ١٩٥٩م قام ويس Weiss بعمل دراسة في سدني بأستراليا، وتوصل إلى أن درجة الحرارة المثلى للراحة الحرارية هي ٢٢°م، وأن الحد الأعلى لمنطقة الراحة الحرارية هو ٢٤°م (Weiss, 1959). أما وب Webb، الذي أجرى تجاربه في سنغافورة عام ١٩٦٠م مستعملاً معيار درجة الحرارة الفعالة فقد استنتج أن درجة الحرارة المثالية للراحة الحرارية هي ٢٥,٥°م (فعالة) (Webb, 1960). وفي عام ١٩٦٣م أجرى ماكفيرسون MacPherson بعض الدراسات في أستراليا ووجد أن ٨٠٪ من الأشخاص الذين استعان بهم في الاستبيان قد بينوا أنهم مرتاحون تماماً عندما كانت درجة حرارة

الهواء ٢٢,٥ م° (MacPherson, 1963). أما عندما استعمل نسبة الـ ٥٠٪ من الأشخاص الذين تم تسجيل انطباعاتهم بواسطة الاستبيان كمقياس أساسي لتحديد منطقة الراحة الحرارية، فقد استنتج أن الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية هو ١٩ م° والحد الأعلى هو ٢٧ م°. وفي عام ١٩٧٤م قام كونسبيرغر Koenigsberger بدراسة تحليلية لتحديد منطقة الراحة الحرارية مستعملًا درجة الحرارة الفعالة المصححة، واستنتج أن الحد الأعلى لمنطقة الراحة الحرارية هو ٢٧ م° والحد الأدنى لها هو ٢٢ م°. أما درجة الحرارة المثالية للراحة الحرارية فهي ٢٥ م°. الجدول رقم (٢, ١) يعطي ملخصًا عامًا لمتطلبات الراحة الحرارية لبعض الأقطار.

جدول رقم (٢, ١). منطقة الراحة الحرارية لبعض الأقطار

القطر	درجة الحرارة المنقولة	الوحدة	المراجع
بريطانيا	١٧ - ٢٠ م°	درجة الحرارة الفعالة	(VanStraaten, 1967)
كندا	١٩ م°	درجة الحرارة الفعالة	"
الشرق الأقصى	٢٢ - ٢٣ م°	درجة الحرارة الفعالة	"
ليران	٢٥ م°	درجة الحرارة الفعالة	"
جنوب أفريقيا	١٩ - ٢٢ م°	درجة الحرارة الفعالة	"
الولايات المتحدة	٢٠ - ٢٣ م°	درجة الحرارة الفعالة	"
المناطق الإستوائية	٢٢ - ٢٧ م°	درجة الحرارة الفعالة المصححة	(Koenigsberger et al., 1973)
سنغافورة	٢٥ - ٢٧ م°	درجة الحرارة الفعالة	"
استراليا	١٩ - ٢٧ م°	درجة الحرارة الجافة	"
تيمبرها	٢٣ - ٢٦,٥ م°	درجة الحرارة الفعالة	"

(٢، ٥، ٢) معادلة الراحة الحرارية

تُعتبر الدراسة التي قام بها فانقر Fanger حتى الآن من الدراسات الشاملة والدقيقة في مجال تحليل وتقويم المناخ المحيط، بالإضافة إلى تحديد منطقة الراحة الحرارية (Fanger, 1972)، قام فانقر بالعديد من الدراسات النظرية والتجارب العملية والمعملية، وتوصل إلى نتائج مهمة في هذا المجال. تنقسم المتغيرات التي لها ارتباط وثيق بالراحة الحرارية، والتي شملتها دراسة فانقر إلى قسمين رئيسيين، القسم الأول ويشمل العناصر التي لها علاقة بالشخص وهي:

(أ) كفاءة العزل الحراري للملابس التي يرتديها.

(ب) نوع النشاط الذي يقوم به.

والقسم الثاني ويشمل العناصر المناخية وهي:

(ج) درجة حرارة الهواء.

(د) سرعة الهواء.

(هـ) ضغط بخار الماء في الهواء المحيط بالإنسان.

(و) متوسط درجة الحرارة الإشعاعية للأسطح الداخلية التي تحدد الفراغ. وتستند نظرية فانقر أساساً على أنه لا يمكن تحقيق الراحة الحرارية إلا بتفاعل هذه العناصر الستة مع بعضها البعض. ولا يمكن الأخذ في الاعتبار أي عنصر من العناصر المذكورة أعلاه بمفرده، أو بمعزل عن العناصر الأخرى. وقد استنتج فانقر من تجاربه أن درجة حرارة جلد الإنسان ومعدل إفرازه للعرق لهما علاقة وثيقة جداً بمدى إحساسه بالحرارة. وبما أن هذين العنصرين لهما علاقة قوية بنوعية النشاط الذي يمارسه الشخص، فقد صارت هذه العلاقة أساسية من أجل تحقيق الراحة الحرارية. وكذلك أثبتت الدراسة أن معدل إنتاج الطاقة الحرارية بواسطة جسم الإنسان نتيجة للتفاعل الحيوي له دلالة الواضحة على مدى إحساسه بالراحة الحرارية. ومن هذا المنطلق فقد افترض فانقر أن الشخص إذا تعرض لمناخ معتدل ولفترة طويلة، يكون بمقدور جهاز تنظيم الحرارة الموجود داخل جسم الإنسان

إيجاد الاتزان الحراري المطلوب والذي يضمن ثبات درجة حرارة الأنسجة الداخلية. وهذا يعني أن كمية الحرارة التي ينتجها الجسم تعادل كمية الحرارة التي يفقدها إلى المناخ المحيط. ويمكن تعريف ذلك بمعادلة الاتزان الحراري كالآتي:

$$(٢, ١٢) \quad H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = R + C \text{ kcal/hr}$$

H = الحرارة التي ينتجها جسم الإنسان (كجم كالوري/ ساعة).

E_d = الحرارة المفقودة نتيجة لتبخر ذرات الماء بالقرب من الجسم (كجم كالوري/ ساعة).

E_{sw} = الحرارة المفقودة نتيجة لتبخر العرق من سطح الجسم (كجم كالوري/ ساعة).

E_{re} = الحرارة الكامنة والمفقودة نتيجة لتبخر ذرات الماء أثناء عملية التنفس (كجم كالوري/ ساعة).

L = الحرارة المفقودة نتيجة لعملية التنفس (كجم كالوري/ ساعة).

K = تدفق الحرارة من جسم الإنسان إلى السطح الخارجي للملابس بواسطة التوصيل (كجم كالوري/ ساعة).

R = الحرارة المفقودة بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة من السطح الخارجي للملابس، ومن ثم إلى المناخ المحيط (كجم كالوري/ ساعة).

C = الحرارة المفقودة بواسطة تيارات الهواء من السطح الخارجي للملابس إلى الهواء المحيط (كجم كالوري/ ساعة).

وبعد دراسة مستفيضة لهذه العناصر توصل فانقر إلى المعادلة التالية:

$$\begin{aligned} & \frac{M}{A_{Da}} (1-\eta) - 0.35[43 - 0.061 \frac{M}{A_{Da}} (1-\eta) - P_a] - 0.42 [\frac{M}{A_{Da}} (1-\eta) - 50 \\ & - 0.0023 \frac{M}{A_{Da}} (44 - P_a) - 0.0014 \frac{M}{A_{Da}} (34 - t_a)] = \end{aligned}$$

$$(٢, ١٣) \quad 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^3 - (t_{mt} + 273)^3] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)$$

حيث

$$M = \text{إنتاج الطاقة الحرارية داخل الجسم نتيجة للتفاعل الحيوي (واط/ متر مربع).}$$

$$A_{Du} = \text{مساحة سطح الجلد (DuBois area) (متر مربع).}$$

$$\eta = \text{الفعالية الميكانيكية للإنسان (معامل ثابت ١, ٠, ٢).}$$

$$P_a = \text{ضغط بخار الماء للهواء المحيط بالإنسان (مليبار).}$$

$$t_a = \text{درجة حرارة الهواء المحيط بالإنسان (درجة مئوية).}$$

$$f_{cl} = \text{نسبة مساحة الجسم المغطى بالملابس إلى مساحة الجسم العاري (نسبة مئوية).}$$

$$t_{cl} = \text{متوسط درجة حرارة الملابس الخارجية للإنسان (درجة مئوية).}$$

$$t_{mt} = \text{متوسط درجة الحرارة الإشعاعية (درجة مئوية).}$$

$$h_c = \text{معامل الحمل الحراري (معامل ثابت).}$$

عند تعريف النشاط ونوع العمل الذي يقوم به الإنسان يمكن تحديد قيمة $(\frac{M}{A_{Du}})$

و (η) من الجدول رقم (٢, ٢). أما درجة حرارة الملابس الخارجية (t_{cl}) فيمكن أن تُحسب بواسطة المعادلة التالية :

$$t_{cl} = 35.7 - 0.032 \frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - 0.18 I_{cl} \left[\frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - \right]$$

$$0.35 [43 - 0.061 \times \frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - P_a] - 0.42 \left[\frac{M}{A_{Du}} (1 - \eta) - 50 \right]$$

$$(٢, ١٤) \quad 0.0023 \frac{M}{A_{Du}} (44 - P_a) - 0.0014 \times \frac{M}{A_{Du}} (34 - t_a)]$$

ولقد استنبط قاق Gagge ورفاقه المصطلح (I_{cl}) والذي يرمز إلى معامل العزل الحراري الكلي من جلد الإنسان إلى السطح الخارجي للملابس وهو يعتمد على معامل العزل الحراري للملابس (Gagge *et al.*, 1941). والجدول رقم (٢، ٣) يعطي معامل العزل الحراري للملابس (I_{cl}) ونسبة الجسم المغطى (f_{cl}). أما معامل الحمل الحراري (h_c) فهو يعتمد على نوعية تيار الحمل الحراري. وهناك نوعان من أنواع انتقال الحرارة بواسطة الحمل، النوع الأول ينشأ نتيجة للتغيرات التي تطرأ على درجة حرارة الهواء، أما النوع الثاني فإنه يحدث نتيجة للضغط الميكانيكي بواسطة المراوح و مراوح مسحب الهواء... الخ.

ويمكن حساب معامل الحمل الحراري الحر free convection، الناتج من الاختلاف في درجة حرارة الهواء بواسطة المعادلة التالية:

$$h_c = 2.05 (t_{cl} - t_a)^{0.25} \quad (٢، ١٥)$$

حيث

h_c = معامل الحمل الحراري.

t_{cl} = معامل العزل الحراري الكلي من جلد الإنسان إلى السطح الخارجي للملابس (معامل ثابت).

t_a = درجة حرارة الهواء (درجة مئوية).

أما حساب معامل الحمل الحراري الناتج من الحمل القسري forced convection فيتم بواسطة المعادلة التالية:

$$h_c = 10.4 \sqrt{v} \quad (٢، ١٦)$$

حيث

v = سرعة الهواء (متر / الثانية).

ويجب استعمال المعادلة الأولى عندما تكون سرعة الهواء أقل من ١،٠ متر/ ثانية وتستخدم المعادلة الثانية عندما تكون سرعة الهواء أكثر من ١،٠ متر/ ثانية وبذلك يمكن القول إن معادلة فانقر للراحة الحرارية تحتوي على العناصر التالية:

(أ) عناصر خاصة بنوع الملابس وخصائصها، وهي معامل العزل الحراري للملابس (I_{cl}) ونسبة المساحة التي تغطيها الملابس بالنسبة لمساحة الجسم العاري (f_{cl}).

(ب) عناصر تعتمد على نوعية النشاط والعمل الذي يقوم به الشخص وهما معدل إنتاج الطاقة الحرارية لكل وحدة مساحة من الجسم ($\frac{M}{A_{Du}}$)، ومعامل الفعالية الميكانيكية (η).

(ج) عناصر مناخية وهي سرعة الهواء (v) ، ودرجة حرارة الهواء (t_a) ، وضغط بخار الماء في الهواء المحيط (P_a) ، ومتوسط درجة الحرارة الإشعاعية (t_{mr}).

وبواسطة استعمال معادلة الراحة الحرارية يمكن تحديد العديد من المجموعات المؤلفة من درجة حرارة الهواء ، وضغط بخار الماء ، وسرعة الهواء ، ومتوسط درجة الحرارة الإشعاعية التي تكون المناخ الحراري الملائم لأي نوع من أنواع الملابس التي يرتديها الشخص ولمختلف أنواع الأنشطة التي يقوم بها . ولقد قام فانقر بمقارنة النتائج التي تم التوصل إليها باستعمال معادلة الراحة الحرارية مع بعض الاستنتاجات من الدراسات التي أجريت لتحديد منطقة الراحة الحرارية في المناطق الباردة والحارة ، وقد توصل إلى أن هناك توافقا كبيرا وتقاربا واضحا بينهما مما يؤكد فعالية المعادلة وصحتها . وهذا يوضح لنا أن التأقلم على المناخ البارد أو الحار يعني أن الشخص يمكنه التكيف بسرعة أكبر من الشخص غير المتأقلم على المناخ المعين ، ولكن معظم الأشخاص يتفقون إلى حد كبير في تحديد متطلبات الراحة الحرارية .

جدول رقم (٢، ٢). معدل إنتاج الحرارة نتيجة للتفاعل الحيوي *

٢	النشاط ونوع العمل	معدل إنتاج الحرارة نتيجة للتفاعل الحيوي $\frac{M}{A_{Du}}$ واط/ مترمربع	الفعالية الميكانيكية η نسبة مئوية (٠,٢ - ٠,١)	السرعة النسبية للهواء عندما يكون ساكنا متر/ ثانية
١	(أ) شخص مرتاح نائم	٣٥	صفر	صفر
٢	جالس بارتياح	٥٠	صفر	صفر
٣	واقف بارتياح	٦٠	صفر	صفر
	(ب) عندما يمشي الشخص على أرض مستوية			
٤	٣,٢ كم / الساعة	١٠٠	صفر	٠,٩
٥	٤,٠ كم / الساعة	١٢٠	صفر	١,١
٦	٤,٨ كم / الساعة	١٣٠	صفر	١,٣
٧	٥,٦ كم / الساعة	١٦٠	صفر	١,٦
٨	٦,٤ كم / الساعة	١٩٠	صفر	١,٨
٩	٨,٠ كم / الساعة	٢٩٠	صفر	٢,٢
	(ج) عندما يمشي الشخص على أرض مرتفعة بنسبة %			
١٠	٥% وبسرعة ١,٦ كم/ساعة	١٢٠	١,٠٧	٠,٦
١١	٥% وبسرعة ٣,٢ كم/ساعة	١٥٠	٠,١٠	٠,٩
١٢	٥% وبسرعة ٤,٨ كم/ساعة	٢٠٠	٠,١١	١,٣
١٣	١٥% وبسرعة ١,٦ كم/ساعة	١٤٥	٠,١٥	٠,٤
١٤	١٥% وبسرعة ٣,٢ كم/ساعة	٢٣٠	٠,١٩	٠,٩

٩ = تتفاوت من ٠,١ للعمل الخفيف إلى ٠,٢ لتسلق منحدر ١٥% بسرعة ٤ كم/ساعة.

تابع جدول رقم (٢،٢).

م	النشاط ونوع العمل	معدل إنتاج الحرارة نتيجة للتفاعل الحويوي $\frac{M}{A_{Du}}$ واط/ متر مربع	الفعالية الميكانيكية η نسبة مئوية (٠,٢ - ٠,١)	السرعة النسبية للجهد عندما يكون ساكنًا متر/ ثانية
١٥	١٥/ و بسرعة ٤,٨ كم/ ساعة	٣٥٠	٠,١٩	١,٣
١٦	٢٥/ و بسرعة ١,٦ كم/ ساعة	١٨٠	٠,٢٠	٠,٤
١٧	٢٥/ و بسرعة ٣,٢ كم/ ساعة	٣٣٥	٠,٢١	٠,٩
	(د) أعمال التجارة			
١٨	تجارة بواسطة الماكينة	٩٠	صفر	٠,١ - ٠,٠
١٩	تجارة يدوية	٢٤٠ - ٢٠٠	٠,٢ - ٠,١	٠,٢ - ٠,١
	(هـ) أعمال المعامل			
٢٠	تصنيف الشرائح	٧٠	صفر	صفر
٢١	أعمال معملية عامة	٨٠	صفر	٠,٢ - ٠,٠
	(و) أعمال ميكانيكية			
٢٢	أعمال كهربائية خفيفة	١٢٠ - ١٠٠	١,٠ - ٠,٠	٠,٢ - ٠,٠
٢٣	صيانة الماكائن	١٤٠	١,٠ - ٠,٠	٠,٩ - ٠,٠
٢٤	أعمال الدهان	٢٠٠	١,٠ - ٠,٠	٠,٢ - ٠,٠
٢٥	أعمال الإسكافي	١٠٠	٠,١ - ٠,٠	٠,١ - ٠,٠
	(ز) قيادة السيارات			
٢٦	سيارة صغيرة (حركة خفيفة)	٥٠	صفر	صفر
٢٧	سيارة صغيرة (حركة مزدحمة)	١٠٠	صفر	صفر
٢٨	سيارة ثقيلة	١٦٠	٠,١ - ٠,٠	٠,٠٥
	(ح) أعمال منزلية			
٢٩	نظافة عامة للمنزل	١٧٠ - ١٠٠	٠,١ - ٠,٠	٠,٣ - ٠,١

تابع جدول رقم (٢، ٢).

٣	النشاط ونوع العمل	معدل إنتاج الحرارة نتيجة للتفاعل الحيوي $\frac{M}{A_{Du}}$ واط/ متر مربع	الفعالية الميكانيكية η نسبة مئوية (٠,٢-٠,١)	السرعة النسبية للهواء عندما يكون ساكنا متر/ ثانية
٣٠	طبخ وإعداد الطعام	٨٠ - ١٠٠	صفر	صفر
٣١	غسيل الأواني	٨٠	صفر	٠,٢ - ٠,٠
٣٢	غسيل وكي الملابس	١٨٠ - ١٠٠	٠,١ - ٠,٠	٠,٢ - ٠,٠
٣٣	حلاقة ولبس الملابس (ط) أعمال مكتبية	٨٥	صفر	٠,٢ - ٠,٠
٣٤	أعمال طباعة بالكهرباء	٥٠ - ٤٥	صفر	٠,٠ - ٠,٥
٣٥	أعمال طباعة ميكانيكية	٦٠ - ٥٥	صفر	٠,٠ - ٠,٥
٣٦	أعمال مختلفة - تنظيم الملفات ... الخ	٦٠ - ٥٠	صفر	٠,١ - ٠,٠
٣٧	رسم (ي) ألعاب ترفيهية	٦٠	صفر	٠,١ - ٠,٠
٣٨	جهاز	٢٠٠ - ١٥٠	٠,١ - ٠,٠	٢ - ٠,٥
٣٩	رقص	٢٢٠ - ١٢٠	صفر	٢ - ٠,٢
٤٠	تنس	٢٣٠	٠,١ - ٠,٠	٢ - ٠,٥
٤١	قفز للحواجز	٣٥٠	صفر	٢ - ٠,٥
٤٢	سكواش	٣٦٠	٠,١ - ٠,٠	٢ - ٠,٥
٤٣	كرة سلة	٣٨٠	٠,١ - ٠,٠	٣ - ١
٤٤	مصارعة (ك) نشاطات أخرى	٤٣٥	٠,١ - ٠,٠	٠,٣ - ٠,١
٤٥	تدريس	٨٠	صفر	صفر
٤٦	صيانة ساعات	٥٥	صفر	صفر
٤٧	تسويق	٨٠	صفر	١ - ٠,٢

جدول رقم (٢.٣). معامل العزل الحراري ونسبة التغطية لمجموعة من الملابس*.

م	نوعية الملابس	معامل العزل الحراري $I_{cl} (= clo-value)$	نسبة التغطية f_{cl}
١	جسم عار تماماً	صفر	١.٠
٢	رداء قصير	٠.١	١.٠
٣	ملابس صيفية، رداء نصف كم شرابات خفيفة وشبّط (صندل)	٠.٣ - ٠.٤	١.٠٥
٤	بنطلون خفيف وقميص نصف كم	٠.٥	١.١
٥	ملابس رياضية - قميص قطن	٠.٦	١.١
٦	بدلة عادية	١.٠	١.١٥
٧	بدلة عادية ومعطف	١.٥	١.١٥
٨	قميص قطن، بنطلون قطن، حذاء رياضي، شرابات	٠.٩	١.١٥
٩	بدلة أوربية ثقيلة وملابس داخلية قطنية، قميص كم طويل، شرابات صوف وبنطلون صوف ومعطف.	١.٥	١.١٥ - ١.٢٠

* المصدر: Fanger (1972), p. 33.

الفصل الثامن

الخصائص الحرارية لمواد البناء

- المقدمة ● التوصيل الحراري ● الإشعاع ● الحمل الحراري
- السعة الحرارية ● العزل الحراري

المقدمة

يختلف الأداء الحراري لمواد البناء باختلاف خصائصها الحرارية - الفيزيائية thermophysical properties. إنَّ تحليل هذه الخصائص ودراستها، يساعد كثيرا في اختيار المناسب منها، والكيفية التي تُستعمل بها لتؤدي دورها في الاستفادة من الإيجابيات وتفادي السلبيات الموجودة في عناصر المناخ الخارجي. إن من واجب المصمم المعماري أن يدرس ويُلم بكل الظواهر والعناصر المناخية وخصائص المواد التي يتعامل معها. ومن أجل الوصول إلى التصميم الجيد، لابد من معرفة الأسس والقوانين التي تحكم التفاعل بين عناصر المناخ ومواد البناء، ومن أهم مظاهر هذا التفاعل ظاهرة انتقال الحرارة.

تنتقل الحرارة من المناطق ذات الدرجات الحرارية العالية إلى المناطق ذات الدرجات الحرارية المنخفضة بثلاث طرق رئيسية هي:

- ١ - التوصيل الحراري thermal conduction .
 - ٢ - الإشعاع الحراري thermal radiation .
 - ٣ - الحمل الحراري thermal convection .
- ويمكن قياس معدل انتقال الحرارة بطريقتين هما:

(أ) معدل تدفق الحرارة Rate of heat flow

وهو معدل انتقال الحرارة المتدفقة في وحدة زمنية خلال مساحة معينة من الجسم أو الفراغ وبنظام محدد ووحدة قياسها الجول/ثانية والتي تعادل واحد واط.

$$\text{Joule / Sec.} = 1 \text{ Watt}$$

(ب) شدة الفيض الحراري Heat flux intensity

كثافة الفيض الحراري هو معدل التدفق الحراري خلال وحدة مساحة من الجسم أو الفراغ ووحدة قياسها هي الواط/ متر مربع Watt / m^2 .

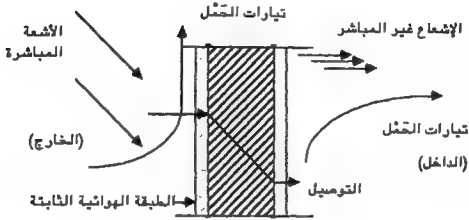
(٣، ١) التوصيل الحراري Thermal Conduction

من الظواهر الطبيعية التي تؤثر على الأداء الحراري للمبنى ظاهرة التوصيل الحراري عبر الغلاف الخارجي. إن توصيل الحرارة هو مفهوم مرتبط بتدفق الحرارة وانتقالها من مكان إلى آخر خلال جزيئات المادة أو المواد المختلفة المتلامسة مع بعضها البعض. يتميز انتقال الحرارة بالتوصيل بأنه يتم دون الحاجة إلى انتقال أجزاء الوسط الذي تسري فيه. وهذه العملية أساساً عملية بطيئة يتم خلالها انتقال الحرارة في المادة عن طريق تنشيط جزيئاتها. مثال ذلك انتقال الحرارة في السقف الخرساني من السطح الأعلى حرارة إلى السطح الأقل حرارة. في هذه الحالة نجد أن جزيئات السقف الخرساني عند السطح الأعلى حرارة تزداد طاقة حركتها بزيادة درجة حرارتها وتحرر هذه الجزيئات جزءاً من طاقتها الحرارية إلى الجزيئات المجاورة لها فتزداد حركتها وتقوم بدورها بإعطاء جزء من طاقتها الحرارية إلى الجزيئات المجاورة لها، وهكذا تتكرر العملية. وبهذه الطريقة تنتقل الطاقة الحرارية من السطح الساخن إلى السطح البارد.

ويعتمد معدل انتقال الحرارة خلال المادة على عوامل كثيرة، نذكر منها:

- ١ - الفرق في درجات الحرارة.
- ٢ - مقدرة المادة على توصيل الحرارة، والتي يمكن أن نطلق عليها الموصلية الحرارية thermal conductivity.
- ٣ - السعة الحرارية للمادة.

ويمكن تعريف الموصلية الحرارية بأنها كمية الحرارة التي تتدفق في وحدة المساحة خلال وحدة الزمن، أو بأنها معدل تدفق الحرارة في وحدة المساحة عند وجود تفاوت وحدة واحدة في درجة الحرارة بين سطحين مختلفين لمادة ما سمكها الوحدة. تختلف الموصلية الحرارية بحسب كثافة المادة ومساميتها والمحتوى الرطوبي ودرجة حرارتها المطلقة absolute temperature. إن محتوى المادة من الرطوبة له أثره الواضح على الموصلية الحرارية إذ يؤدي ارتفاع الرطوبة إلى ارتفاع معامل الموصلية الحرارية، أي أن العلاقة بينهما طردية. أما المقاومة الحرارية thermal resistivity يمكن تعريفها بأنها قياس مدى مقاومة المادة، أو مجموعة المواد المختلفة، لانتقال أو تدفق الحرارة خلالها بواسطة التوصيل. ويمكن اعتبارها الزمن اللازم للإمرار وحدة واحدة من كمية الحرارة عبر وحدة واحدة من المساحة لمادة صلبة سمكها الوحدة عند وجود تفاوت بين درجات حرارة الأسطح المتعامدة مع اتجاه تدفق الحرارة مقداره درجة واحدة، أو بكونها الفرق بين درجتين حرارة سطحين من مادة سمكها الوحدة، عند تدفق وحدة واحدة من كمية الحرارة عبر وحدة واحدة من المساحة وفي وحدة واحدة من الزمن (فتحي، ١٩٨٨). ومن هذا يتضح أن العلاقة بين سمك المادة ومقاومتها الحرارية علاقة تناسبية طردية. وفي مجال التصميم المعماري قد يستعمل المصمم العديد من المواد مع بعضها البعض لتشكيل جزءاً من هيكل البناء، وفي هذه الحالة يمكن حساب إجمالي المقاومة الحرارية بجمع المقاومات الحرارية لكل هذه المواد. أما التوصيل الحراري thermal conductance فهو معدل تدفق الحرارة خلال مادة أو مجموعة من المواد المرتبطة ببعضها ببعض في نظام إنشائي موحد. ويمكن تعريف التوصيل الحراري بأنه كمية الحرارة التي تتدفق بين سطحي المادة خلال وحدة المساحة في وحدة الزمن عند وجود فرق مقداره درجة حرارة واحدة بينهما. وهناك علاقة تناسبية طردية بين سمك المادة والموصلية الحرارية. ولاشك أن هناك ارتباطاً واضحاً بين درجة حرارة سطحي المادة الخارجي والداخلي وخصائصها الحرارية الفيزيائية. إن انتقال الحرارة عبر الهيكل الإنشائي يتم من كتلة الهواء الأكثر حرارة إلى كتلة الهواء الأقل حرارة في خمس مراحل (شكل رقم ١، ٣) ويمكن تلخيصها كالآتي:



شكل رقم (١، ٣). كيفية تدفق الحرارة عبر الحائط.

- (أ) انتقال الحرارة من الكتلة الهوائية الأكثر حرارة إلى الطبقة الهوائية الثابتة والملاصقة للسطح الإنشائي الأقل حرارة بواسطة تيارات الحمل .
 - (ب) انتقال الحرارة من الطبقة الهوائية الثابتة والملاصقة للسطح الأكثر حرارة إلى سطح الهيكل الإنشائي الأقل حرارة عن طريق التوصيل .
 - (ج) انتقال الحرارة من السطح الإنشائي الأكثر حرارة إلى السطح الإنشائي الأقل حرارة عن طريق التوصيل .
 - (د) انتقال الحرارة من السطح الإنشائي الأكثر حرارة إلى الطبقة الهوائية الملاصقة للسطح والأقل حرارة عن طريق التوصيل .
 - (هـ) انتقال الحرارة من الطبقة الهوائية الملاصقة للسطح والأكثر حرارة إلى الكتلة الهوائية المتحركة والأقل حرارة بواسطة تيارات الحمل .
- الموصلية الحرارية في النظام البريطاني يتم قياسها بواسطة الوحدة الحرارية البريطانية (Btu) لكل ساعة لكل قدم مربع - درجة فهرنهايت، وتُعطى الرمز k ، أما في النظام المتري، فهي تقاس بواسطة الكيلو كالوري لكل ساعة-متر مربع-درجة مئوية ، وتُعطى الرمز (λ) . أما معامل مقاومة الحرارة هي عكس معامل الموصلية الحرارية ويرمز لها بـ $\frac{1}{k}$ في النظام البريطاني و $\frac{1}{\lambda}$ في النظام المتري . إن

انتقال الحرارة عبر أجزاء المبنى المختلفة كالحوائط والأسقف والأرضيات لا يعتمد فقط على معامل الموصلية الحرارية للمادة المستعملة ، وإنما يعتمد أيضا على سمك الحائط أو السقف أو الأرضية (d) . وكلما زاد سمك المنشأ كلما قلَّ معدل توصيل الحرارة . ولذلك يمكن تعريف مقاومة الحرارة (R) resistivity للمادة سمكها (d) والموصلية الحرارية (λ) conductivity بواسطة المعادلة التالية:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (٣, ١)$$

حيث

d = سمك المادة (متر) .

λ = الموصلية الحرارية للمادة (واط/متر مربع - درجة مئوية) .

R = المقاومة الحرارية للمادة (درجة مئوية - مترمربع/واط) .

أما التوصيل الحراري (C) فيمكن تعريفه بواسطة المعادلة التالية:

$$C = \frac{\lambda}{d} \quad (٣, ٢)$$

حيث

C = التوصيل الحراري (واط/درجة مئوية - متر) .

ويمكن حساب انتقال الحرارة عبر المنشأ بالتوصيل في حالة ثبات الحالة

steady state condition بواسطة المعادلة التالية:

$$Q_c = A \times \frac{\lambda}{d} (t_2 - t_1) \quad (٣, ٣)$$

حيث

A = المساحة (متر مربع) .

$(t_2 - t_1)$ = الفرق في درجة الحرارة بين السطحين (درجة مئوية) .

إن الطبقة الهوائية الملاصقة للسطح ضعيفة السماكة وهي ثابتة وغير متحركة ولا تتأثر بتيارات الحمل. هذه الطبقة الهوائية تقاوم انتقال الحرارة بين سطح المنشأ والهواء المحيط به، وهي تُعرف بمقاومة السطح. أما النفاذية الحرارية فهي المصطلح المرتبط بمعدل انتقال الحرارة من الهواء الخارجي عبر الهيكل الإنشائي إلى الهواء الداخلي وبالعكس لكل وحدة من مساحة الهيكل الإنشائي. والفرق الأساسي بين النفاذية الحرارية والموصلية الحرارية هو أن النفاذية الحرارية تشتمل، بالإضافة إلى مقاومة الطبقات المختلفة للمنشأ، على المقاومات الخاصة بطبقات الهواء الثابتة والملاصقة للسطحين الخارجي والداخلي. وللنفاذية الحرارية أهمية تطبيقية كبيرة، إذ أنها تمثل الوسيلة المثالية للمقارنة بين قدرات العزل الحراري لطرق الإنشاء المختلفة والمتعلقة بالجدران والأسقف، وهي أيضا القاعدة الأساسية للعمليات الحسابية المرتبطة باكتساب الحرارة وفقدانها من أجل تقويم الأداء الحراري للهيكل الإنشائي أو تحديد احتياجات المبنى من معدات وأجهزة التكييف الميكانيكي. إذا كان الحائط أو السقف معتم وغير شفاف ومكون من طبقات مختلفة من المواد المتلاصقة، فإن معامل النفاذية الحرارية يمكن أن يحسب بواسطة المعادلة التالية (Van Straaten, 1967).

$$U = \frac{1}{R}$$

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \dots \dots \frac{d_n}{\lambda_n}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_0} + \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \dots \dots \frac{d_n}{\lambda_n} \right)}$$

حيث

U = معامل انتقال الحرارة الكلي (واط/متر مربع - درجة مئوية).

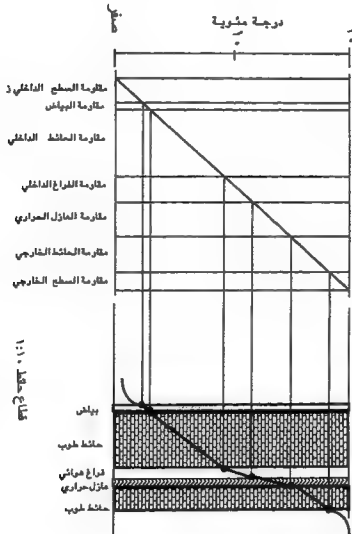
h_i = معامل انتقال الحرارة بين السطح الداخلي وطبقة الهواء الثابت.

h_0 = معامل انتقال الحرارة بين السطح الخارجي وطبقة الهواء الثابت.

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ = الموصلية الحرارية لطبقات المواد المختلفة (واط/متر مربع - درجة مئوية).
 $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = سمك الطبقات المختلفة (متر).

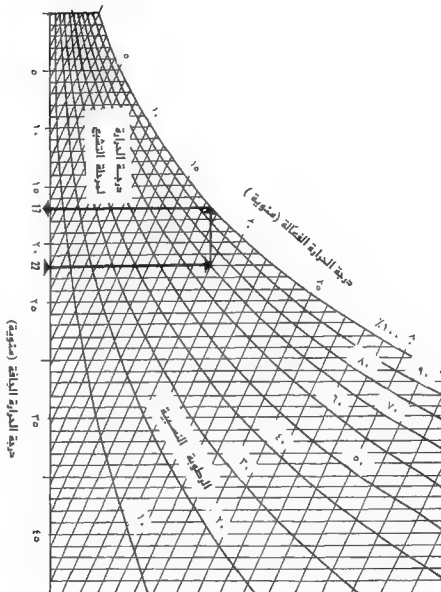
إن التدرج الحراري thermal gradient، هو المصطلح الذي يرمز إلى الاختلاف في درجات الحرارة خلال عناصر المبنى، كالحوائط والأسقف، والأرضيات. إن دراسة التدرج الحراري تُعتبر ضرورية من أجل معالجة ظاهرة التكاثف، والتي تؤثر سلباً على عناصر المبنى. وبواسطة الرسم يمكن تحديد التدرج الحراري لأي عنصر من عناصر المبنى، وكمثال لذلك إذا كانت درجة حرارة الهواء الخارجي صفر درجة مئوية، ودرجة حرارة الهواء الداخلي ٢٠ م°، وإذا كان الحائط مكون من طوب عادي، وفراغ هوائي، وطبقة خرسانية، وعازل حراري، وبياض داخلي، يتم رسم قطاع للحائط بمقياس رسم بناءً على مقدار المقاومات الحرارية لكل طبقة من الطبقات المختلفة للحائط (شكل رقم ٣، ٢). إن مقياس الرسم المناسب في هذه الحالة هو ١:١٠، ١ م = ١٠ م، وبالتالي فإن مقاومة السطح الخارجي يمكن تمثيلها بـ ٣١ مم. الخ. وفي مواجهة هذا الرسم يتم رسم قطاع عادي للحائط بمقياس رسم ١:١٠. وعلى المحور الرأسي يتم عمل قياس لدرجات الحرارة بواقع ٣ ملميمترات لكل درجة مئوية، وبعد ذلك يتم تحديد درجات حرارة الهواء الداخلي والخارجي، وتوصيلها بخط مستقيم. عند تقاطع هذا الخط المستقيم مع الطبقات المختلفة للحائط، يتم رسم خطوط أفقية حتى تلتقي بالطبقات المماثلة لها في قطاع الحائط العادي، وبالتالي فإن الخط الذي يصل جميع النقاط على الطبقات المختلفة يمثل التدرج الحراري للحائط. كما هو معروف فإن معدلات الرطوبة النسبية تختلف باختلاف درجات الحرارة. عندما تنخفض درجة حرارة الهواء (شكل رقم ٣، ٣) يمكن تحديد درجة الحرارة التي يحدث عندها التكاثف لأي درجة حرارة ورطوبة نسبية. عندما تكون درجة حرارة الهواء = ٢٢ م° والرطوبة النسبية = ٧٠٪، في هذه الحالة يتم تحديد نقطة تقاطع الخط الذي يمثل درجة الحرارة ٢٢ م° مع الخط الذي يمثل درجة الرطوبة النسبية ٧٠٪. ومن نقطة التقاطع هذه يتم رسم خط أفقي ليقاطع خط الرطوبة النسبية = ١٠٠٪. ومن نقطة تقاطع الخط الأفقي مع خط الرطوبة النسبية التي = ١٠٠٪ يتم إسقاط خط

عمودي ليقاطع المحور الأفقي للبياني ، والذي يمثل درجات الحرارة ، ومن ثم يتم تحديد درجة الحرارة التي يحدث عندها التكاثف = 17°C . هذا يعني أنه عندما تكون درجة حرارة الهواء = 22°C والرطوبة النسبية = 70% ، وإذا لامس هذا الهواء سطح له درجة حرارة = 17°C يحدث تكاثف بخار الماء علي هذا السطح . وظاهرة التكاثف هذه تتكرر يوميا عندما يلامس الهواء المشبع ببخار الماء سطح المرآة داخل الحمام .



شكل رقم (٢، ٣). التدرج الحراري.

المصدر : Koenigsberger (1973), p. 81



Radiation (٣, ٢) الإشعاع

إن الإشعاع الحراري هو عبارة عن موجات كهرومغناطيسية $electro - magnetic waves$ تولدها الحركة الحرارية للجزيئات المكوّنة للمادة. ترتطم الطاقة المنبعثة من الجسم المشع بجسم آخر فيمتصها محولا هذه الطاقة الإشعاعية إلى طاقة حرارية، وهكذا يتم انتقال الحرارة من مكان إلى آخر بواسطة الإشعاع. والإشعاع الحراري يرمز إلى الأشعة تحت الحمراء $infra - red rays$ من طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي $electro - magnetic spectrum$ ، وتتكون موجاته من الآتي:

- (أ) الموجات القصيرة تحت الحمراء من ٧٠٠ إلى ٢٣٠٠ نانوميتر.
- (ب) الموجات الطويلة تحت الحمراء من ٢٣٠٠ إلى ١٠,٠٠٠ نانوميتر
- (١ نانوميتر = 10^{-9} متر).

وهناك بعض الموجات الإشعاعية الأخرى التي قد يكون لها تأثير حراري. وتأثير الإشعاع يعتمد أيضا على نوعية المادة التي يسقط عليها. ويمكن تقسيم المواد إلى قسمين أساسيين:

- ١ - المواد غير المنفذة للإشعاع أو غير الشفافة $opaque$.
- ٢ - المواد المنفذة للإشعاع أو الشفافة $transparent$.

(٣, ٢, ١) المواد غير المنفذة للإشعاع

إن سطح المواد غير المنفذة للإشعاع له ثلاث خصائص رئيسية تحدد أدائها بالنسبة للتبادل الحراري بواسطة الإشعاع وهذه الخصائص هي:

- (أ) مقدرتها على امتصاص الأشعة الساقطة عليها $absorptivity$.
 - (ب) مقدرتها على عكس الأشعة الساقطة عليها $reflectivity$.
 - (ج) مقدرتها على التخلص من الحرارة المخزونة فيها (الانبعاث) $emissivity$.
- عند سقوط أشعة الشمس المباشرة على سطح غير منفذ للإشعاع، قد يتم امتصاص هذه الأشعة بواسطة السطح أو انعكاسها. ويتم الامتصاص بالكامل عندما يكون السطح أسود اللون تماما، وفي المقابل يتم عكس الأشعة بكاملها عندما تسقط على سطح عاكس تماما $reflector$. لكن معظم الأسطح تمتص جزءا

من هذه الأشعة وتنعكس الجزء الآخر. وإذا افترضنا أن معامل الامتصاص للأشعة absorptivity of solar radiation هو (α) ومعامل الانعكاس reflectivity of solar radiation هو (r) فإن المعادلة التي توضح العلاقة بينهما تكون كالآتي:

$$r = 1 - \alpha \quad (3, 5)$$

أما معامل الانبعاث (ϵ) فهو مقدرة المادة على التخلص من الحرارة بواسطة الإشعاع غير المباشر إلى الأجسام المواجهة لها والفراغ المحيط بها. إن معامل انبعاث الحرارة من أي سطح يعتمد على درجة حرارته، ونوعية السطح نفسه بالإضافة إلى درجة حرارة الأجسام المقابلة له. في درجة الحرارة العادية تنبعث الحرارة بواسطة الأشعة تحت الحمراء infra red rays، ويمكن حساب قوة إشعاع انبعاث الحرارة بواسطة المعادلة التالية (Givoni, 1981):

$$Q_r = 4.9 \times \epsilon \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (3, 6)$$

Q_r = معدل إنتقال الحرارة بواسطة الإشعاع (واط/متر مربع).

ϵ = معامل انبعاث الحرارة.

T = درجة الحرارة المطلقة (درجة كلفن = ٢٧٣ + درجة الحرارة المثوية).

إن نسبة امتصاص الحرارة المشعة يعتمد على طول موجات الإشعاع الساقطة على السطح. إن الحائط المطلي باللون الأبيض يمتص حوالي ١٢، ٠ من الأشعة المباشرة بينما يبعث حوالي ٩٠، ٠ من الأشعة غير المباشرة long-wave radiation. وبالمقابل فإن هذا السطح يتمتع بكفاءة عالية ومقدرة جيدة في التخلص من الحرارة إلى الأجسام والناخ المحيط بواسطة الإشعاع غير المباشر. إن اللون الخارجي للسطح يحدد قدرته على امتصاص الأشعة المباشرة. وكلما كان اللون فاتحاً زادت مقدرته على عكس الأشعة المباشرة، وانخفضت النسبة التي يمتصها من هذه الأشعة (جدول رقم ١، ٣). ولكن اللون الخارجي للسطح ليس له أي تأثير على أدائه وتفاعله مع الإشعاع غير المباشر. إن اللون الأسود يختلف اختلافاً كبيراً عن اللون الأبيض عند تفاعله مع الأشعة المباشرة، إذ أن اللون الأسود يمتص نسبة كبيرة من الأشعة المباشرة بالمقارنة للنسبة التي يمتصها اللون الأبيض ولكنهما

يتساويان في مقدرتهما على التخلص من الحرارة بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة للمناخ المحيط والأجسام المواجهة. وهذا يعني أن الحوائط والأسقف بتباين ألوانها تتساوى في فقدانها للحرارة إلى الفضاء الخارجي أثناء الليل، خاصة عندما تكون السماء صافية وزرقاء كما هو الحال في معظم الأوقات بالنسبة للمناطق ذات المناخ الحار الجاف. من البيانات الموضحة في الجدول رقم (٣، ١) يتضح لنا أن الدهانات البيضاء والسوداء في درجة الحرارة العادية تتساوى تقريباً في قدرتها على التخلص من الحرارة، غير أن امتصاصية الدهان الأبيض من أشعة الشمس المباشرة تقل كثيراً عن امتصاصية الدهان الأسود. عندما يتم طلاء السطح الخارجي للسقف بطبقة من الدهان الأبيض، فإن كمية الحرارة التي يكتسبها تكون أقل بكثير مما لو كان الطلاء داكناً. وفي الوقت نفسه فإن معدل فقدان الحرارة بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة من السقف المطلي بدهان أبيض يتساوى مع معدل فقدان الحرارة من السقف المطلي بدهان أسود.

جدول رقم (٣، ١). معامل الامتصاصية والانعائية لبعض مواد البناء والدهانات.

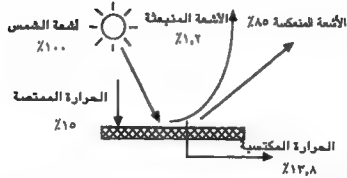
الرقم	المادة أو لون الدهان	معامل الامتصاصية	معامل الانعائية
١	صفحة ألومنيوم لامعة	٠,٠٥	٠,٩٥
٢	صفحة ألومنيوم مؤكسدة	٠,١٥	٠,٨٥
٣	حديد مجلفن لامع	٠,٢٥	٠,٧٥
٤	دهان ألومنيوم	٠,٥٠	٠,٥٠
٥	دهان أبيض حديث	٠,١٢	٠,٨٨
٦	دهان أبيض زيتي	٠,٢٠	٠,٨٠
٧	رمادي فاتح	٠,٢٠	٠,٨٠
٨	رمادي غامق	٠,٧٠	٠,٣٠
٩	أخضر فاتح	٠,٤٠	٠,٦٠
١٠	أخضر غامق	٠,٧٠	٠,٣٠
١١	أسود عادي	٠,٨٥	٠,١٥

المصدر: Givoni (1981), p. 108.

إن خاصية الانبعاثية للمواد المختلفة في درجات الحرارة العادية لها أهمية كبيرة إذ أنها تُعتبر من العوامل الرئيسية التي يتم بموجبها اختيار المواد المناسبة للغلاف الخارجي للمبنى وأيضاً للفراغات الهوائية التي توجد في الجدران والأسقف والأرضيات، لأنها تحدد معدل انتقال الحرارة عبر الفراغ الهوائي. والخاصية المهمة الأخرى هي معامل الامتصاص للأسطح الخارجية التي تسقط عليها أشعة الشمس المباشرة والتي بدورها تحدد معدل ارتفاع درجة حرارة السطح وبالتالي معدل تدفق الحرارة إلى الداخل. وعلى سبيل المثال فإن سطح الألومنيوم المصقول صقلاً جيداً يعكس معظم أشعة الشمس الساقطة عليه. وبما أن معامل انبعاثية الحرارة لهذا السطح ضعيفة، فإنه سوف يكون أكثر سخونة من سطح ممائل مدهون (شكل رقم ٣، ٤). وعلى الرغم من أن السطح المدهون يمتص نسبة أعلى من أشعة الشمس، لكنه بالمقابل له مقدرة أكبر على التخلص من الحرارة مقارنة بـ سطح الألومنيوم المصقول. كما ورد ذكره سابقاً، إن طول موجات الطيف الإشعاعي يعتمد على درجة حرارة المصدر. إن الأجسام التي لها درجة حرارة عالية تبعث موجات طويلة من الأشعة تحت الحمراء، بينما تبعث الشمس الموجات القصيرة من الأشعة تحت الحمراء، والتي تحمل معها معظم الطاقة الحرارية والضوئية والأشعة فوق البنفسجية *ultra-violet radiation*. إن معدل انتقال الحرارة بواسطة الإشعاع يعتمد على الآتي:

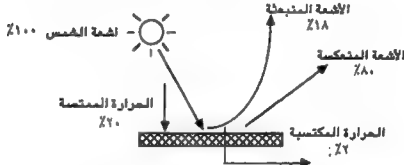
- (أ) الفرق في درجة حرارة الأجسام التي تتبادل الحرارة .
- (ب) معامل الانبعاثية ومعامل الامتصاصية للأجسام التي تتبادل الحرارة.

في درجات الحرارة العادية يتفاوت معامل الانبعاثية على حسب تباین خصائص السطح الخارجي. إن معامل الانبعاثية لمواد البناء العادية يُقدر بحوالي ٠,٩ ، بينما يُقدر معامل الانبعاثية لصفحة الألومنيوم المصقولة صقلاً جيداً *highly polished aluminum surface* بحوالي ٠,٨ . أما معامل الامتصاص لأشعة الشمس المباشرة فهي تعادل ٠,٩ لكل الأسطح السوداء، بينما تعادل ٠,٢ بالنسبة للأسطح البيضاء أو المعدنية اللامعة.



$0.8 = 0.15 \times 0.85$ (إنتعاشية الإشعاع = إمتصاصية الإشعاع \times الإنتعاشية)
 $0.2 = 0.15 \times 0.15$ (إشعاع المنبعث = الإمتصاصية \times الإنتعاشية)
الحرارة المكتسبة = الحرارة الممتصة - الحرارة المنبعثة = $0.15 - 0.12 = 0.03$

١ ا الاشعة الساقطة على صفيحة النيوم مستوول



$0.8 = 0.2 \times 0.8$ (إنتعاشية الإشعاع = إمتصاصية الإشعاع \times الإنتعاشية)
 $0.18 = 0.2 \times 0.18$ (إشعاع المنبعث = الإمتصاصية \times الإنتعاشية)
الحرارة المكتسبة = الحرارة الممتصة - الحرارة المنبعثة = $0.2 - 0.18 = 0.02$

ب الاشعة الساقطة على صفيحة النيوم مدهونة باللون الأبيض

شكل رقم (٤, ٣). الأشعة الساقطة على الأسطح غير الشفافة.

ويمكن حساب معامل الانعكاسية بواسطة المعادلتين التاليتين (Givoni, 1963):

$$(٣,٧) \quad ٥,٧ = h_r \times \text{معامل الانعكاسية}$$

[عندما تكون درجة الحرارة في حدود ٢٠°C]

$$(٣,٨) \quad ٤,٦ = h_r \times \text{معامل الانعكاسية}$$

[عندما تكون درجة الحرارة في حدود الصفر درجة مئوية]

وبالتالي يمكن حساب معدل تدفق الحرارة بواسطة الإشعاع بالمعادلة التالية:

$$(٣,٩) \quad Q_{\text{rad}} = h_r \times A (t_2 - t_1)$$

حيث

$$Q_{\text{rad}} = \text{معدل تدفق الحرارة بواسطة الإشعاع (واط/متر مربع).}$$

$$h_r = \text{معامل الإشعاع (واط/درجة مئوية).}$$

$$A = \text{المساحة (متر مربع).}$$

$$(t_2 - t_1) = \text{فرق في درجات الحرارة للأسطح المتواجهة (درجة مئوية).}$$

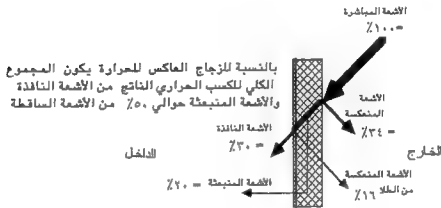
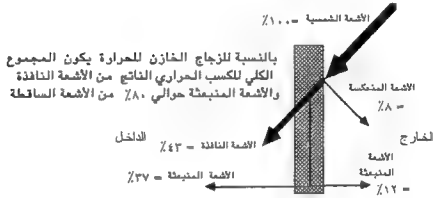
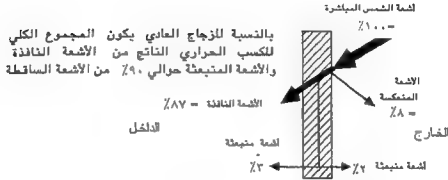
(٣,٢,٢) المواد المنقلة للإشعاع

إن ظهور المواد الشفافة كالزجاج والبلاستيك وانتشار استعمالها في المباني أضاف بُعداً جديداً للعمارة المعاصرة. وبصفة عامة فقد وفرت هذه المواد الحماية من بعض عناصر المناخ المحيط غير المرغوب فيها، كالرياح الحارة والباردة، والصقيع والثلوج، والأتربة، وفي الوقت نفسه ساعدت على الاستفادة من الإنارة الطبيعية مع إمكانية ربط الفراغ الداخلي بالطبيعة الخارجية بصرياً. لاشك أن التقنية الحديثة في مجال الصناعة وفرت العديد من أنواع المواد الشفافة الزجاجية والبلاستيكية التي تختلف في مظهرها من الداخل والخارج وبالتالي صارت من العناصر المهمة في العمارة المعاصرة. وهناك مثلاً بعض المواد الشفافة والتي ينفذ من خلالها الإشعاع ذو الأطوال الموجية الواقعة ضمن الجزء المرئي من الطيف *visible spectrum*، بينما تمتص الأشعة تحت الحمراء *infra-red rays*، بالإضافة إلى الإشعاع الحراري *thermal rays*. وتنقسم الأشعة الساقطة على الأسطح الزجاجية إلى ثلاثة أجزاء رئيسية (شكل رقم ٣,٥) وهي كالآتي:

(أ) الجزء الأول يتم عكسه إلى الخارج.

(ب) الجزء الثاني يتم امتصاصه بواسطة الزجاج.

(ج) الجزء الثالث ينفذ مباشرة إلى الداخل عبر الزجاج.



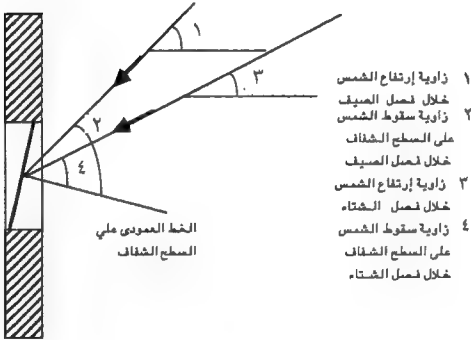
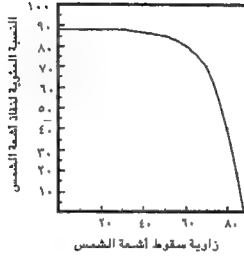
شكل رقم (٥, ٣). نفاذ الأشعة خلال المسطحات الزجاجية.

المصدر: Norbert (1991). p. 167

إن نسبة السجزة المنعكس من أشعة الشمس الساقطة على الزجاج العادي تعتمد أساساً على زاوية سقوط الأشعة على السطح الزجاجي. وقد أثبتت الدراسات في هذا المجال أنه كلما زادت زاوية السقوط، زادت نسبة الانعكاس (طالب، ١٩٨٩). يوضح الشكل رقم (٦، ٣) معدل تغير الانعكاسية مع زاوية السقوط، حيث يبين أن الانعكاسية تزداد ببطء مع زيادة زاوية السقوط، عندما تكون زاوية السقوط بالنسبة للخط العمودي على السطح الشفاف أصغر من ٥٠°. بينما تزداد الانعكاسية باطراد عندما تكون زاوية السقوط أكبر من ٥٠°. إن زيادة نسبة الانعكاسية تعني نقصان النفاذية. مما سبق يتضح لنا أن إمالة زجاج النافذة يزيد من قيمة زاوية السقوط، ويمكن أن يقوم بحجب كلي لأشعة الشمس المباشرة للفترة الحارة أثناء فصل الصيف، ويكون الحجب جزئياً خلال فترات الجو المعتدل وأقل ما يمكن في فصل الشتاء. إن التطور التقني في صناعة الزجاج والمواد الشفافة الأخرى كالبلاستيك جعل من الممكن التحكم وبشكل فعال في مرور أشعة الشمس خلال هذه المواد. ساعدت الأنواع المطورة من الزجاج على توفير الحماية الضرورية للفراغ الداخلي من الأشعة المباشرة وخفض الوهج، وساعدت كثيراً في دعم التكامل بين الإنارة الطبيعية والإنارة الاصطناعية. إن الزجاج العازل للحرارة عادة ما يتكون من لوحين من الزجاج أو ثلاثة ألواح. وينقسم الزجاج العازل للحرارة والخاص بالتحكم في أشعة الشمس solar control glass إلى نوعين (صور رقم ١، ٣، ٢) هما:

(أ) الزجاج الحارن للحرارة absorptive glass .

(ب) الزجاج العاكس للأشعة reflective glass .



شكل رقم (٦ و ٣). العلاقة بين نفاذ الأشعة وزوايا سقوط الشمس.

المصدر: Van Straaten (1967). p. 117



صورة رقم (١، ٣). مبنى تجاري، شارع الضباب - الرياض.



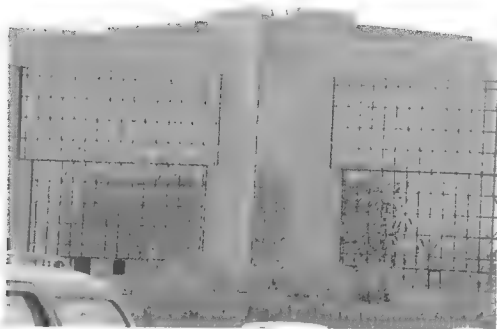
صورة رقم (٢، ٣). مبنى تجاري، شارع الستين - الرياض.

إن الزجاج الخازن للحرارة (صور رقم ٣,٣ و ٣,٤) هو الذي يتميز بسعة حرارية عالية، تمكنه من امتصاص نسبة كبيرة من أشعة الشمس المباشرة وتخزينها في شكل حرارة. وفي وقت لاحق يقوم الزجاج الخازن بالتخلص من الحرارة إلى الداخل والخارج بواسطة تيارات الحمل والإشعاع. أما النسبة المتبقية فيتم عكس جزء منها إلى الخارج وينفذ الجزء المتبقي من أشعة الشمس إلى الداخل. أما الزجاج العاكس فهو الذي له قدرة كبيرة على عكس أشعة الشمس الساقطة عليه إلى الخارج وامتصاص ونفاذ نسبة ضئيلة منها. كذلك يقوم الزجاج العاكس بالتخلص من النسبة الضئيلة التي امتصها إلى الداخل والخارج بواسطة تيارات الحمل والإشعاع. وتتفاوت كفاءة الانعكاس وتعتمد على نوعية الطلاء الذي يتم به معالجة الزجاج. إن معامل الحجب الخاص بالزجاج glass shading coefficient هي كمية الحرارة المكتسبة نتيجة للطاقة الشمسية التي تنفذ من الزجاج العاكس للحرارة بالمقارنة إلى كمية الحرارة المكتسبة نتيجة للطاقة الشمسية التي تنفذ من خلال نفس المساحة من الزجاج العادي بسماكة ٣ مم. وهكذا يمكن الاستفادة من طبقات الهواء بين ألواح الزجاج المزدوج في عملية العزل الحراري إذ أنها تقلل من معدل انتقال الحرارة بواسطة التوصيل، ويستحسن ألا يزيد عرض الفراغ الهوائي على ٢,٥ سم. أما إذا زاد عرض الفراغ الهوائي عن هذا المعدل، فقد ينشأ تيار الحمل الذي يعمل على إيصال الحرارة من لوح الزجاج الحار إلى لوح الزجاج البارد نسيباً (Crowther, 1977). وفي بعض الأحوال يمكن استعمال ثلاثة ألواح زجاجية وفراغين للهواء لزيادة كفاءة العزل الحراري. و الجدول رقم (٣, ٢) يعطي الخصائص الفيزيائية لبعض أنواع الزجاج.

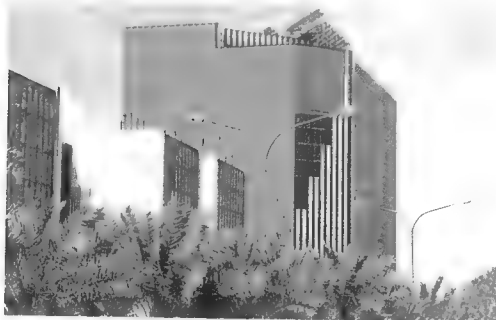
(٣, ٣) الحمل الحراري Thermal Convection

(٣, ٣, ١) مسيبات الحمل الحراري

إن التغيرات التي تحدث في درجة حرارة السوائل والغازات تؤدي إلى تفاوت في كثافة جزيئاتها، وينتج عن ذلك حركة طبيعية نتيجة لارتفاع الجزيئات الأقل كثافة والأكثر حرارة إلى أعلي لتحل محلها جزيئات أكثر كثافة وأقل



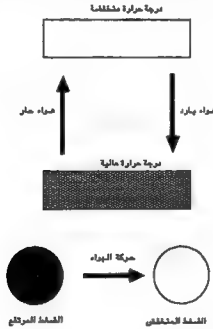
صورة رقم (٣, ٣). الواجهة الغربية لمبنى تجاري، شارع الستين - الرياض.



صورة رقم (٣, ٤). الواجهة الشمالية لمبنى تجاري، شارع العليا - الرياض.

حرارة، وتُعرف هذه الحركة الهوائية بالحمل الحراري، شكل رقم (٣، ٧). أما إذا حُرِّك السائل أو البخار بواسطة المضخات أو المراوح فتُعرف هذه الحركة بالحمل القسري. ويمكن انتقال الحرارة من سطح ما إلى سائل أو غاز أو من الغاز أو السائل إلى السطح بواسطة تيارات الحمل الحراري أو القسري. إن تدفق الحرارة بواسطة تيارات الحمل في المباني هو في الأصل انتقال الحرارة من السطح الحار إلى السطح الأقل حرارة بواسطة الهواء، والعوامل الرئيسية التي تؤثر على معدل انتقال الحرارة بواسطة تيارات الحمل هي:

- (أ) مساحة الاتصال بين السطح والهواء المحيط به.
- (ب) الفرق بين درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة السطح.
- (ج) معامل الحمل وهو يعتمد على لزوجة وسرعة الهواء وطبيعة السطح.



شكل رقم (٣، ٧). تيار الحمل الطبيعي.

أما قيم معامل الانتقال الحراري بواسطة الحمل فهي كالتالي (Perburry, 1978):

- (أ) الحوائط = $3,0$ واط/متر مربع - درجة مئوية (حرارة مطلقة).
- (ب) الاسقف = $4,3$ واط/متر مربع - درجة مئوية، (اتجاه الحرارة إلى أعلى).

(ج) الأسقف = ١,٥ واط/متر مربع - درجة مئوية، (اتجاه الحرارة إلى أسفل).

أما بالنسبة للأسطح التي تكون معرضة للرياح فيمكن حساب معامل الحمل كالاتي:

$$h_c = 5.8 + 4.1 v \quad (٣, ١٠)$$

حيث

v = سرعة الهواء /متر/ ثانية .

وبالتالي يمكن حساب معدل انتقال الحرارة نتيجة لتيارات الحمل (Q_{cv}) بواسطة المعادلة التالية (Perburry, 1978):

$$Q_{cv} = h_c \times A \times \Delta T \quad (٣, ١١)$$

حيث

h = معامل الحمل الحراري (واط/متر مربع).

A = مساحة السطح (متر مربع).

ΔT = الفرق بين درجة حرارة السطح والهواء المحيط به (درجة مئوية).

(٣, ٣, ٢) انتقال الحرارة عبر الفراغات الهوائية

إن الفراغات الهوائية air space أصبحت من الظواهر الشائعة الاستعمال في العمارة المعاصرة، وذلك لأن الهواء يُعتبر عنصرا مهما من عناصر مقاومة انتقال الحرارة في المباني. وتنقسم الفراغات الهوائية إلى قسمين هما:

(أ) الفراغات الهوائية الرأسية والتي ترتبط بالأجزاء العمودية في المباني كالحوائط والنوافذ.

(ب) الفراغات الهوائية الأفقية والتي ترتبط بالأجزاء الأفقية في المباني كالأسقف والأرضيات.

ومن أهم العوامل التي تحدد وتتحكم في معدل تدفق الحرارة عبر الفراغات الرأسية المغلقة الآتي:

١ - سمك الفراغ الهوائي.

٢ - المقدرة الإشعاعية للأسطح المُلحدة للفراغ.

جدول رقم (٣، ٢). الخصائص الفيزيائية للزجاج العادي والملون والعاكس للأشعة.

نوعية وعدد ألواح الزجاج	سمك الفراغ الهوائي مليمتراً	نسبة مرور الإنسارة %	معامل الإشعاع %	معامل الحيثب (نسبة)
٤x٢ مم زجاج عادي	١٢	٧٧	٧٧	٠,٨٨
٦x٢ مم زجاج عادي	١٢	٧٦	٧٣	٠,٨٤
٨x٢ مم زجاج عادي	١٢	٧٤	٦٨	٠,٧٨
٤ مم زجاج مطلي بالبرونز	١٢	٥٥	٦٠	٠,٦٨
٤ + مم زجاج عاد	١٢			
١٢ مم زجاج مطلي بالبرونز	١٢	٢٢	٢٦	٠,٣٠
٦ + مم زجاج عادي	١٢			
٦ مم زجاج مطلي باللون الرمادي + ٦ مم زجاج عادي	١٢	٣٨	٥٢	٠,٥٩
١٢ مم زجاج مطلي باللون الرمادي + ٦ مم زجاج عادي	١٢	١٦	٣١	٠,٣٦
٦ مم زجاج فضي عاكس	١٢	٧	١٦	٠,١٨
٦ + مم زجاج عادي	١٢			
٨ مم زجاج فضي عاكس	١٢	١٩	٢٦	٠,٣٠
٦ + مم زجاج عادي	١٢			
٦ مم زجاج ذهبي عاكس	١٢	٧	١٧	٠,٢٠
٦ + مم زجاج عادي	١٢			

المصدر: Van Straaten (1967), p. 118.

أما بالنسبة للفراغات الهوائية الأفقية فأهم العوامل التي تحدد وتتحكم في معدل تدفق الحرارة خلالها الآتي:

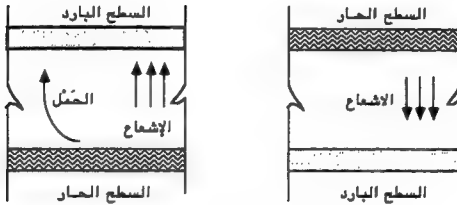
- ١ - سمك الفراغ الهوائي.
- ٢ - المقدرة الإشعاعية للأسطح المحددة للفراغ.
- ٣ - اتجاه تدفق الحرارة.

إذا كان سمك الفراغ الهوائي أكثر من ٢,٥ سم، يتم انتقال الحرارة عبر فراغ بواسطة الإشعاع والحمل والتوصيل، أما إذا كان سمك الفراغ أقل من ذلك، فإن انتقال الحرارة في هذه الحالة يتم بواسطة الإشعاع والتوصيل، حيث يتعذر على تيارات الحمل أن تكون نتيجة لصغر سمك الفراغ. لاشك أن الموصلية الحرارية للهواء الثابت still air تُعتبر منخفضة جداً، ولكن هذا لا يعني أن لمهواء مقاومة عالية لانتقال الحرارة إذ أن ما يعادل ٦٠٪ إلى ٦٥٪ من حرارة تنتقل عبر الفراغ الهوائي بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة في حين أن النسبة الباقية تنتقل بواسطة تيارات الحمل (Van Straaten, 1967). وعندما يزيد سمك الفراغ على ٢,٥ سم فإن نسبة انتقال الحرارة بواسطة التوصيل تكون ضئيلة جداً بينما تتكون تيارات الحمل التي تساعد على تدفق المزيد من الحرارة. أما معدل تدفق الحرارة بواسطة الإشعاع فيعتمد على معامل الانبعاثية الحرارية للمواد المستعملة للأسطح المحيطة للفراغ الهوائي. وبما أن معامل الانبعاثية الحرارية لمعظم مواد البناء في حدود ٠,٩، فإن معامل الانبعاثية الحرارية الكلي للفراغ الهوائي تكون حوالي ٠,٨٢. أما عندما يكون أحد الأسطح المحددة للفراغ سطحاً عاكساً كرقائق الألومنيوم، فإن معامل الانبعاثية الحرارية الكلي للفراغ الهوائي في هذه الحالة يكون حوالي ٠,٥. أما عندما يكون السطحان اللذان يحددان الفراغ الهوائي من رقائيق الألومنيوم فإن معامل الانبعاثية الحرارية الكلي للفراغ الهوائي ينخفض إلى ٠,٣ (Givoni, 1981). إن اتجاه تدفق الحرارة مهم جداً في حالة الفراغات الأفقية. عندما يكون اتجاه الحرارة من أسفل إلى أعلى، في هذه الحالة يكون الهواء الملاصق للسطح الأسفل أكثر حرارة وأقل كثافة فيرتفع إلى أعلى حاملاً معه الحرارة إلى السطح الأعلى، وبذلك تساعد تيارات الحمل في نقل الحرارة عبر الفراغ (الجدول رقم ٣,٣). أما عندما يكون اتجاه انتقال الحرارة من أعلى إلى أسفل، تكون جزيئات الهواء الملاصقة للسطح العلوي هي الأكثر حرارة والأقل كثافة ويؤدي ذلك إلى عدم وجود تيار للحمل الحراري ويقتصر انتقال الحرارة على الإشعاع (الشكل رقم ٣,٨).

جدول رقم (٣، ٣). معامل التوصيل الحراري للفراغات الهوائية.

م	موقع الفراغ الهوائي واتجاه تدفق الحرارة	مادة عاكسة من جانب واحد	مواد عادية على جانبي الفراغ
١	فراغ رأسي - (الحرارة في الاتجاهين)	٢، ٤	٥، ٠
٢	فراغ أفقي - (الحرارة من أسفل إلى أعلى)	٢، ٧	٥، ٣
٣	فراغ أفقي - (الحرارة من أعلى إلى أسفل)	١، ٢	٤، ٠

المصدر: Givoni (1981). p. 111.



شكل رقم (٣، ٨). تدفق الحرارة خلال الفراغ الهوائي الأفقي المغلق.

Heat Capacity السعة الحرارية (٣، ٤)

تعتبر خاصية تخزين الحرارة لمواد البناء من الخصائص المهمة جدا نظرا لتأثيرها على الأداء الحراري للمباني. وخاصية تخزين الحرارة تعتمد على معدل امتصاص الحرارة وانتشارها خلال جزيئات المادة والتي تحددها السعة الحرارية والموصلية الحرارية للمادة. والسعة الحرارية هي المعيار الذي يمكن بواسطته تحديد قدرة وحدة الحجم من المادة على اختزان الحرارة وهي تتناسب طرديا مع كثافة المادة density، والحرارة النوعية specific heat لها. وفي هذه الحالة تُعرف بالسعة الحرارية الحجمية (C_v) ويمكن حسابها بواسطة المعادلة التالية (Van Straaten, 1967):

(٣، ١٢)

$$C_v = \rho C_p V (\Delta T)$$

حيث

 C_v = السعة الحرارية الحجمية (كيلو كالوري / متر مكعب). ρ = كثافة المادة (كجم/ متر مكعب). C_p = معامل الحرارة النوعية (كيلو كالوري/ كجم - درجة مئوية). V = حجم المادة (متر مكعب). ΔT = مقدار الارتفاع في درجة الحرارة (درجة مئوية).

الكالوري calorie هي وحدة قياس الطاقة الحرارية ويمكن تعريفها بأنها كمية الحرارة التي ترفع درجة حرارة وحدة واحدة من المادة بدرجة حرارة واحدة. أي أنها كمية الحرارة التي ترفع درجة حرارة واحد سنتيمتر مكعب من الماء بدرجة مئوية واحدة، من ١٥ إلى ١٦ م. أما السعة الحرارية بالنسبة للمحافظ أو السقف فإنها ترمز إلى كمية الحرارة التي ترفع درجة حرارة وحدة واحدة من المساحة بدرجة مئوية واحدة. إن التباين بين قيم الحرارة النوعية لمواد البناء المختلفة يُعتبر قليلا جدا مقارنة بالتباين بين قيم الكثافة. وكمثال لذلك فلإن الحرارة النوعية للصفوف المعدني mineral wool تُقدر بحوالي ١٩ ، كيلو كالوري/ كجم - درجة مئوية، بينما تُقدر الحرارة النوعية للخشب بحوالي ٣٤ ، كيلو كالوري/ كجم - درجة مئوية. وفي المقابل فإن كثافة مواد البناء تباين تباينا واضحا، إذ تُقدر كثافة الفلين الرغوي الممدد expanded polystyrene بحوالي ٥٠ كجم/ متر مكعب في حين أن كثافة الخرسانة تصل إلى ٢٣٠٠ كجم/ متر مكعب كما هو واضح في الجدول رقم (٤، ٣).

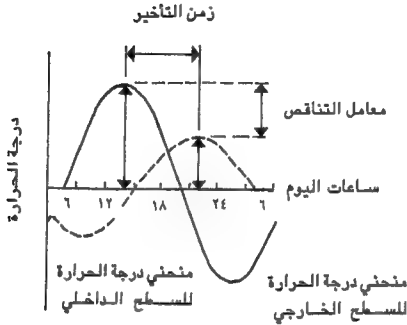
إن خاصية تخزين الحرارة والاحتفاظ بها تُعتبر من الخصائص المهمة والفعالة بالنسبة للمباني في المناطق ذات المناخ الحار الجاف حيث التباين الكبير في درجة حرارة الهواء بين كل من الليل والنهار والصيف والشتاء. إن مفعول السعة الحرارية في هذه المناطق قد يكون ذا فائدة كبيرة مقارنة بمفعول العوازل الحرارية، وهذا يتضح لنا من الأداء الحراري للمباني التقليدية. إن الحواجز السميكة للمباني التقليدية والتي تميّزت بسعتها الحرارية العالية قد ساعدت كثيرا في توفير قدر مناسب من الراحة الحرارية للفراغات الداخلية. عندما يتعرض السطح الخارجي للمحافظ إلى أشعة الشمس المباشرة وإلى الأشعة المنعكسة والمتشعة ويتفاعل مع الهواء الحار أثناء النهار ترتفع درجة حرارته، ومن ثم تبدأ الحرارة في التدفق إلى

جدول رقم (٣، ٤). الموصلية الحرارية والكثافة والحرارة النوعية.

مواد البناء	الموصلية الحرارية كيلو كالوري / متر - ساعة - درجة مئوية	الكثافة كجم / متر مكعب	الحرارة النوعية كيلو كالوري / كجم - درجة مئوية
١ الخرسانة العادية	١,١	٢٣٠٠	٠,٢٤
٢ خرسانة خفيفة الوزن	٠,٢٧	٦٠٠	٠,٢٥
٣ طوب	٠,٧٠	١٨٠٠	٠,٢٢
٤ خشب	٠,١٧ - ٠,١١	٨٠٠ - ٥٠٠	٠,٣٤
٥ ألواح خشب (عازلة)	٠,١٧ - ٠,٠٣٨	٨٠٠ - ٢٣٠	٠,٣٤ - ٠,٣٥
٦ صوف معدني	٠,٠٥	٤٥٠	٠,١٩
٧ فلين رغوي (ممدد)	٠,٠٣	٥٠	٠,٤٠
٨ لياسة من الاسمنت	٠,٦	١٨٠٠	٠,٢٤

المصدر: Givoni (1981), p. 113.

الداخل بواسطة التوصيل. وبما أن الحائط سميك وله سعة حرارية عالية ويستطيع تخزين كميات كبيرة من الحرارة، فهذا يعني أن جزءا كبيرا من الحرارة يتم تخزينه بواسطة الحائط ويؤدي إلى رفع درجة حرارته. وبالتالي يتسبب في تأخير مرور الحرارة إلى السطح الداخلي. ونتيجة لذلك فإن المعدلات الكبرى لدرجة حرارة السطح الداخلي تكون أقل من المعدلات الكبرى لدرجة حرارة السطح الخارجي. وهناك أيضا الفارق الزمني، إذ أن أعلى درجة حرارة للسطح الداخلي تحدث في زمن متأخر مقارنة بزمن حدوث أعلى درجة حرارة للسطح الخارجي. إن الفرق الزمني بين حدوث المعدلات الكبرى لدرجة حرارة السطح الداخلي وحدوث المعدلات الكبرى لدرجة حرارة السطح الخارجي يُعرف بزمن التأخير أو الإزاحة الحرارية time-lag (شكل رقم ٣، ٩).



شكل رقم (٩، ٣). مفعول السعة الحرارية على تدفق الحرارة.

المصدر: Koenigsberger (1973), p. 84

وعندما تغيب الشمس، تبدأ درجة حرارة الهواء الخارجي في الانخفاض، وهذا بدوره يتيح فرصة جيدة للسطح الخارجي للتخلص من حرارته بمعدل أعلى من التخلص السطح الداخلي من الحرارة وذلك نسبة لتفاعله المباشر مع الهواء الخارجي. وعندما تصل درجة حرارة السطح الخارجي إلى مستوى أقل من درجة حرارة السطح الداخلي في هذه الحالة ينعكس اتجاه تدفق الحرارة ليصبح من الداخل إلى الخارج .

Thermal Insulation العزل الحراري (٣، ٥)

يمكن بوجه عام تعريف العزل الحراري في المباني بأنه الوسيلة التي يمكن بواسطتها مقاومة انتقال الحرارة عبر أجزاء المبنى المختلفة. ومن الأسباب الرئيسية التي تستوجب استعمال المواد العازلة الآتي:

(أ) الاحتفاظ بالحرارة داخل المبنى في المناطق الباردة ومقاومة انتقالها إلى الخارج. و الاحتفاظ بالبرودة الداخلية ومقاومة انتقال الحرارة من الخارج إلى الداخل في المناطق الحارة.

(ب) التقليل من مفعول الإشعاع، وخاصة أشعة الشمس المباشرة التي تسقط على الأسقف والحوائط الخارجية بكثافة عالية، كما هو الحال في المناطق الحارة.

(ج) حماية العاملين من خطورة الإشعاع الحراري من مصادر الحرارة المرتفعة.

(د) التحكم في الحركة الحرارية من تمدد وانكماش للعناصر الإنشائية.

(هـ) ضمان سرعة الاستجابة للتدفئة والتبريد غير المستمر في حالة استعمال الكتل الإنشائية السميكة ذات السعة الحرارية العالية.

(و) التحكم في التكاثف على الحوائط والأسقف.

ويمكن تقسيم المواد العازلة بشكل عام إلى مجموعتين رئيسيتين، المجموعة الأولى تشتمل على المواد التي تقاوم انتقال الحرارة بواسطة الإشعاع، والمجموعة الثانية تشتمل على المواد التي تقاوم انتقال الحرارة بواسطة التوصيل. المواد العازلة في المجموعة الأولى تعتمد أساساً على خصائص سطحها الخارجي والتي تتمثل في معامل امتصاص منخفض ومعامل انبعاث منخفض. وتعتبر رقائق الألومنيوم aluminum foil من أهم هذه المواد وهي تستعمل دائماً في الفراغات الهوائية في الحوائط والأسقف والأرضيات. أما المجموعة الثانية فهي التي تعتمد على خاصية توصيل الحرارة، وهي المواد التي تتميز بمعامل موصلية حرارية منخفضة. وهذه المجموعة هي التي ينتشر استعمالها في المباني، ويمكن تقسيمها استناداً إلى المواد التي صنعت منها إلى أربع مجموعات هي:

(أ) مواد عازلة حيوانية

وهي التي يتم صنعها من صوف الحيوانات واستعمال هذا النوع من العوازل في المباني محدود للغاية.

(ب) مواد عازلة نباتية

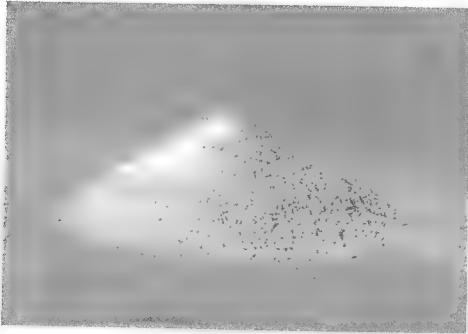
وهذه المجموعة تشمل المواد الليفية fibrous والمواد التي تتكون من خلايا النباتات cellular plant ومنها القش والتبن والقطن والفلين . . . إلخ.

(ج) المواد المصنّعة

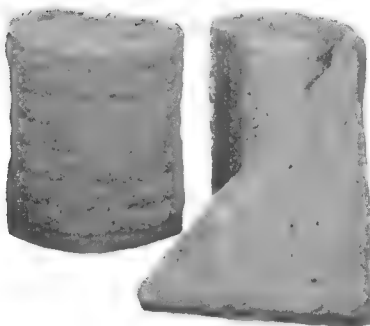
وهذه المجموعة تشمل المطاط المركب والبلاستيك الرغوي . وقد انتشر استعمال النوع الأخير انتشارا واسعا وهو ينقسم إلى نوعين هما الفلين الرغوي polystyrene والبوليوريثين polyurethane .

(د) مواد عازلة معدنية

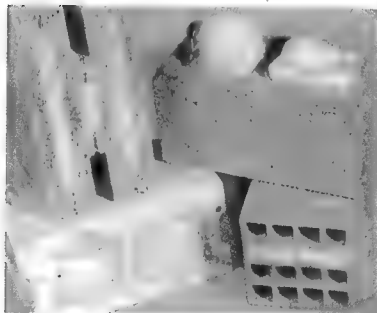
ومن هذه المواد الصوف الزجاجي glass wool والصوف المعدني mineral wool . وتنقسم المواد العازلة استنادا إلى تشكيلها إلى أربعة أنواع (صور أرقام ٣,٥ إلى ٣,٨) هي:



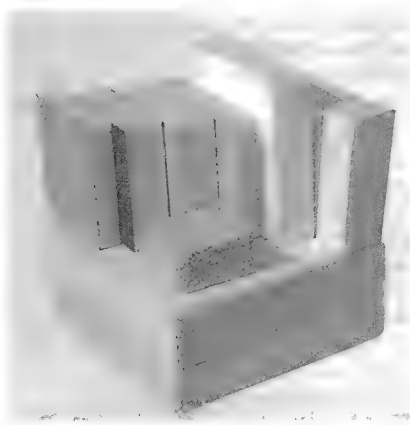
صورة رقم (٣, ٥). مواد عازلة سائبة حيضية.



صورة رقم (٦, ٣). مواد عازلة في شكل لفات.



صورة رقم (٧, ٣). البوليورثين السائل.



صورة رقم (٨، ٣). مواد عازلة في شكل ألواح.

- (أ) المواد السائبة، وهي إما أن تكون مواد ليفية أو حبيبية أو في شكل بودرة، ومن أشهرها الصوف الزجاجي والصوف الصخري.
- (ب) المواد التي تُصنع في شكل لفات أو شرائح مرنة وأهمها الصوف المعدني.
- (ج) المواد التي تُصنع في شكل ألواح صلبة وأهمها ألواح الفلين الرغوي وألواح الخرسانة الرغوية.
- (د) المواد التي يتم تركيبها في الموقع وأهمها البوليوروثين.

٣، ٥، ١) خصائص المواد العازلة Characteristics of insulating materials

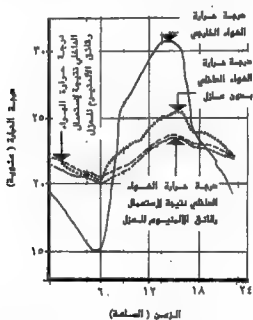
إن اختيار المواد العازلة يجب ألا يقتصر على كفاءتها في مقاومة انتقال الحرارة فقط، بل يجب الأخذ في الاعتبار كل الخصائص الأخرى مثل الكثافة،

والحرارة النوعية، ومعامل التمدد الحراري، ومقاومتها للحرارة والبرودة، ومقاومتها لانتقال البخار، ومقاومتها لانتقال الحريق، وقوة التحمل، والقوة الميكانيكية، ومقاومتها للتآكل والتعفن بواسطة الحشرات، ومدى تأثير كفاءتها في العزل الحراري نتيجة لتعرضها للأتربة والرياح والرطوبة (المؤسسة العامة للكهرباء، ١٩٨٦).

(٢، ٥، ٣) موقع العازل الحراري Positioning of insulation

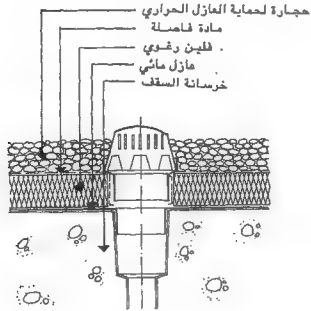
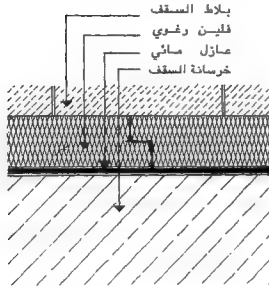
يتكون الغلاف الخارجي للمبنى من الحوائط والأسقف والفتحات، وهي المكونات الرئيسية للمبنى، وتفاوت هذه العناصر في تفاعلها مع المناخ الخارجي وبالتالي في تأثيرها على المناخ الداخلي. في المناطق الاستوائية التي تتميز بقوة أشعة الشمس والتي تسقط لفترات طويلة خاصة خلال فصل الصيف، يتعرض الغلاف الخارجي للمبنى لهذه الأشعة، والتي تصل أعلى مستوياتها في منتصف النهار عندما تكون الشمس عمودية على السقف إذا كان مستويا. أما إذا كان السقف مائلا فتفاوتت قوة الحرارة الناتجة عن الأشعة الساقطة على حسب درجة واتجاه الميول بالنسبة لحركة الشمس (سعيد، ١٩٨٧). تُعتبر أشعة الشمس المباشرة من أهم العوامل التي تؤثر على درجة حرارة السطح الخارجي بالإضافة إلى الأشعة المنعكسة والمتناثرة وتيارات الهواء. ترتفع درجة حرارة السطح الخارجي للأسقف والحوائط، وتأخذ الحرارة في التدفق إلى الداخل بواسطة التوصيل إذا كان الحائط أو السقف مصممت ولا يحتوي على فجوات هوائية. ومن أجل تخفيض معدل تدفق الحرارة يمكن وضع بعض العوازل الحرارية كجزء من مركبات السقف أو الحائط (الشكل رقم ١٠، ٣). عندما تُستعمل المواد العازلة للحرارة في الأسقف ربما تتعرض إلى ضغط عالي نتيجة للأحمال المختلفة خاصة إذا كان السقف يستعمل كسطح وفي هذه الحالة لابد من حمايته. أما عندما يكون السقف غير مستعمل كسطح، في هذه الحالة لا بد من حماية العازل الحراري من أشعة الشمس المباشرة بشتي الوسائل (الشكل رقم ١١، ٣). أما متطلبات العزل الحراري في الحوائط فتختلف باختلاف نوعية الحائط ونسبة تعرضه لأشعة الشمس المباشرة. ففي نصف الكرة الشمالي تُعتبر الواجهة الشمالية أقل الواجهات تعرضاً لأشعة الشمس المباشرة في حين أن الواجهة الغربية تُعتبر أكثر الواجهات تعرضاً لحرارة المناخ الخارجي، وذلك نتيجة لسقوط أشعة الشمس المباشرة عليها في وقت تكون فيه درجة حرارة الهواء الخارجي في أعلى معدلاتها، فهي بالتالي تحتاج إلى عناية فائقة ومعالجة دقيقة (Watson, 1983).

الواجهة الشرقية تأتي بعد الواجهة الغربية إذ أنها تتعرض لأشعة الشمس المباشرة خلال الفترة الصباحية عندما تكون معدلات درجة حرارة الهواء منخفضة نسبياً. أما الواجهة الجنوبية فإنها تتعرض لأشعة الشمس أثناء النهار ويمكن حمايتها بسهولة بواسطة كاسرات الشمس الرأسية والأفقية (سميد، ١٩٨٧م). إن استعمال المواد العازلة في الحوائط يُعتبر أقل تعقيداً بالمقارنة لاستعمالها في الأسقف وذلك لعدم تعرضها للضغط والمعدلات العالية من أشعة الشمس والرطوبة والأمطار. وقد قام العديد من الباحثين بعمل الدراسات الميدانية والمعملية لتحديد الوضع الأمثل للمواد العازلة (Diamant, 1965 وميرا، ١٩٨٩م). وقد أثبتت هذه التجارب أن كفاءة العزل الحراري تزداد عندما يتم وضعها في مواجهة الحرارة. بالنسبة للمناطق ذات المناخ الحار الجاف، وخاصة عندما يكون المبنى معتمداً كلياً على أدائه الطبيعي، يكون الوضع الأمثل للمعازل الحراري في السطح الخارجي للحائط أو السقف. ولا شك أن موقع الطبقة العازلة في الحائط له أثر كبير على مقدار التحسن والذي يتمثل في زيادة الإراحة الحرارية time-lag (صورة ٩، ٣ و ١٠).

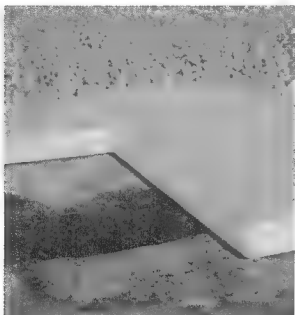


شكل رقم (٣، ١٠). مفعول العزل الحراري على درجة حرارة الهواء.

المصدر: (Salmi (1980), p. 53.



شكل رقم (١١، ٣). حماية العازل الحراري.
المصدر: ميرزا (١٩٨٩م).



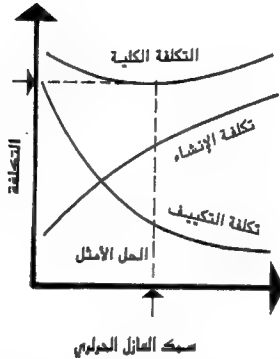
صورة رقم (٩, ٣).
البولستيرين الممدد للأسقف.



صورة رقم (١٠, ٣).
البولستيرين الممدد للجدران.

(٣, ٥, ٣) معامل انتقال الحرارة الكلي U - value

تُستعمل المواد العازلة في المناطق الباردة من أجل الاحتفاظ بالحرارة داخل المبنى ومقاومة تسربها إلى الخارج، وفي هذه الحالة تكون خاصية العزل الحراري هي العنصر المهم. أما بالنسبة للمناطق الحارة الجافة والتي تتميز بالتباين الواضح في درجات الحرارة أثناء النهار مقارنة بدرجات الحرارة أثناء الليل، وعندما يكون التحكم في المناخ الداخلي معتمدا جزئيا أو كليا على الوسائل الطبيعية، فإن خاصيتي العزل الحراري والتخزين الحراري يمثلان أهم عنصرين. ومن المؤكد أنه كلما زادت كفاءة العزل الحراري للمبنى، انخفض معدل انتقال الحرارة من الخارج إلى الداخل أو العكس. ولكن من وجهة النظر الاقتصادية لابد من الوصول إلى الحل الأمثل optimum solution والذي يضمن التوازن بين تكلفة العازل الحراري وبين تخفيض تكلفة التبريد أو التدفئة. هنالك العديد من الدراسات التي تحدد كيفية الوصول إلى السماكة المثالية للطبقة العازلة (شكل رقم ١٢، ٣)، (المقرن، ١٩٨٩ و Markus, 1976). ليس من السهل وضع أسس عامة لتحديد مستويات العزل الحراري إذ لابد من وضع الحلول الخاصة التي تناسب كل مشروع على حده بناء على نوعية المشروع واستعمالات المبنى ومناخ الموقع وتكلفة العزل الحراري، وتكلفة الطاقة، وحسب مواصفات ومتطلبات العزل الحراري والتي قد تختلف من بلد إلى آخر بل وقد تتباين هذه المتطلبات في البلد الواحد. إن انتقال الحرارة من الخارج إلى الداخل أو العكس عبر غلاف المبنى، وفي حالة غياب أشعة الشمس المباشرة، يعتمد على التباين في درجات حرارة الهواء الداخلي والخارجي، والمساحة المعرضة من السطح والمنافذة الحرارية للغلاف. إن المنافذة الحرارية أو معامل انتقال الحرارة الكلي تساوي مقلوب المقاومة الكلية، والتي تتكون من مجموع مقاومات الطبقات المختلفة التي يتكون منها الحائط أو السقف أو الأرضية بالإضافة إلى مقاومة الطبقة الهوائية الثابتة والملاصقة للسطحين الداخلي والخارجي (Saeed, 1975).



شكل رقم (١٢، ٣). العلاقة بين تكلفة العزل الحراري وتكلفة التكيف.

المصدر: Markus (1976) p. 28.

(٤، ٥، ٣) حساب معامل انتقال الحرارة الكلي

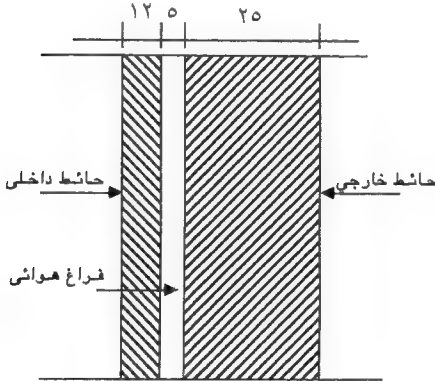
من أجل حساب معامل انتقال الحرارة الكلي يتم اتباع الخطوات التالية :

(أ) يتم رصد كل المواد التي تُمثل الطبقات المختلفة (شكل رقم ١٣، ٣)، التي يحتويها الحائط أو السقف في العمود الأول في الجدول رقم (٥، ٣) ويتم رصد سمك كل مادة في العمود الثاني.

(ب) ومن الجدول رقم (٦، ٣) يتم تحديد مقاومة السطح الخارجي، والذي يعتمد على مدى تعرض الحائط أو السقف للمناخ الخارجي ، ويتم رصدها في العمود الرابع في الجدول رقم (٥، ٣).

(ج) ومن الجدول رقم (٧، ٣) يتم تحديد الموصلية الحرارية لمواد البناء المختلفة التي يحتويها الحائط أو السقف ومن ثم يتم تسجيلها في العمود الثالث في الجدول رقم (٥، ٣).

- (د) من الجدول رقم (٣، ٨) يتم تحديد قيمة مقاومة الطبقة الهوائية ويتم تسجيلها في العمود الرابع في الجدول رقم (٣، ٥).
- (هـ) يتم حساب المقاومة الحرارية لكل المواد المستعملة في الحائط أو السقف وهي تعادل حاصل قسمة سمك المادة المسجل في العمود الثاني على الموصلية الحرارية المسجلة في العمود الثالث، ويتم تسجيلها في العمود الرابع.



شكل (٣، ١٣). قطاع لحائط يحتوي على فراغ هوائي.

- (و) من الجدول رقم (٣، ٩) يتم تحديد معامل المقاومة الحرارية للسطح الداخلي، ومن ثم يتم تسجيلها في العمود الرابع. إن قيمة المقاومة الحرارية تكون ثابتة لكل الأجزاء العمودية من المبنى كالحوائط والفواصل الداخلية والنوافذ، بينما تختلف باختلاف اتجاه تدفق الحرارة بالنسبة للأجزاء الأفقية كالارضيات والأسقف.

(ز) يتم حساب المجموع الكلي للمقاومة الحرارية (R) وذلك بجمع كل القيم في العمود الرابع، ومن ثمّ يمكن تحديد العامل الكلي لانتقال الحرارة بواسطة المعادلة التالية:

$$U = \frac{1}{R} \quad (١٣, ٣)$$

حيث

U = معامل انتقال الحرارة الكلي.

R = المجموع الكلي للمقاومة الحرارية.

إن معامل انتقال الحرارة الكلي U-value يُستعمل عادة في حساب تدفق الحرارة عبر الأسقف والأرضيات والحوائط المتعددة الطبقات مع الأخذ في الاعتبار العناصر المناخية التي تؤثر على التبادل الحراري بين الهواء والأسطح. قامت في بعض الأقطار الجهات ذات الاختصاص بوضع لائحة للعزل الحراري تُحدد أعلى معامل لانتقال الحرارة الكلي المسموح به لعناصر الغلاف الخارجي، وذلك بهدف ترشيد استهلاك الطاقة في المباني كما هو واضح في الجدول رقم (١٠، ٣). أما لائحة العزل الحراري لدول مجلس التعاون الخليجي فقد حددت قيمة معامل الانتقال الحراري الكلي للحوائط بـ ٠,٧٤١ واط/متر مربع - درجة مئوية، وللأسقف بـ ٠,٥٧ واط/متر مربع - درجة مئوية (المؤسسة العامة للكهرباء، ١٩٨٦م). ولنفترض أن معامل الانتقال الحراري الكلي لائح ما، كما في المثال السابق، يعادل ١,١ واط/متر مربع - درجة مئوية. من أجل تحديد السمك المطلوب من مادة العزل الحراري التي تم اختيارها، ولكي تكون قيمة معامل الانتقال الحراري الكلي متوافقة مع متطلبات اللائحة العامة لدول الخليج العربية يمكن اتباع الخطوات التالية:

(أ) يتم اختيار المادة العازلة المناسبة بناءً على مواصفاتها وتكلفتها، وطبيعة المبنى... الخ.

(ب) لنفترض أنه تم اختيار البوليستيرين الممتد، من الجدول رقم (٣، ٧) يتم تحديد الموصلية الحرارية للبوليستيرين = ٠,٣٥ واط/متر مربع - درجة مئوية.

(ج) يتم حساب مقلوب معامل الانتقال الحراري الكلي المطلوب باللائحة

$$= \frac{1}{0,741} = 1,350 \text{ متر مربع - درجة مئوية/واط.}$$

(د) معامل الانتقال الحراري الكلي للحائط = ١,١ واط/ متر مربع -

درجة مئوية .

$$(هـ) \text{ مقلوب معامل الانتقال الحراري الكلي للحائط} = \frac{1}{1,1} = 0,909$$

متر مربع - درجة مئوية/واط.

(و) فرق معامل المقاومة الحرارية المطلوب = معامل المقاومة الحرارية

للحائط والمطلوب حسب اللائحة - معامل المقاومة الحرارية للحائط الحالي
 $1,35 - 0,9 = 0,450$ متر مربع - درجة مئوية/واط.

(ز) سمك البوليستيرين = فرق معامل المقاومة الحرارية X الموصلية الحرارية

للبوليستيرين = $0,450 \times 0,035 = 0,01575 = 0,0158$ متر. ويتم تحديد
 سمك البوليستيرين الممتد على ألا يقل عن ١,٦ سم.

جدول رقم (٣,٥). حساب معامل انتقال الحرارة الكلي لحائط مجوف.

٢	مواد البناء لطبقات الحائط المختلفة	سمك المادة متر	الموصلية الحرارية واط / متر مربع - درجة مئوية	المقاومة الحرارية متر مربع - درجة مئوية/ واط
١	مقاومة السطح الخارجي	-	-	0,053
٢	طوب عادي	0,250	0,7	0,357
٣	فراغ هوائي (مهي)	0,050	-	0,180
٤	طوب عادي	0,120	0,7	0,171
٥	بياض	0,015	0,5	0,030
٦	مقاومة السطح الداخلي	-	-	0,120
٧	المجموع الكلي للمقاومة الحرارية	-	-	0,911

$$\text{معامل انتقال الحرارة الكلي U-value} = \frac{1}{0,911} = 1,1 \text{ واط/ متر مربع - درجة مئوية}$$

جدول رقم (٦، ٣). معامل مقاومة السطح الخارجي.

مقاومة السطح لمختلف حالات التعرض للمناخ متر مربع / درجة مئوية - واط			انبعاثية السطح*	وحدة البنية	
شديد التعرض	عادي	محمي			
٠,٠٢٧	٠,٠٥٣	٠,٠٨٠	عالية	الحائط	١
٠,٠٢٧	٠,٠٦٢	٠,١٠٦	منخفضة	٤٤	
٠,٠١٨	٠,٠٤٤	٠,٠٧٠	عالية	السقف	٢
٠,٠١٨	٠,٠٥٣	٠,٠٨٨	منخفضة	٤٤	

المصدر: (Perburry (1978). p. 37.

* تكون انبعاثية السطح (e) عالية لمعظم مواد البناء العادية بما فيها الزجاج وتكون منخفضة للمعادن الالامعة كالألومنيوم والحديد المجلفن.

جدول رقم (٧، ٣). الخصائص الحرارية الفيزيائية لبعض مواد البناء.

م	مواد البناء	الحرارة النوعية جول/كجم درجة مئوية	الكثافة الكتلية كجم/متر مربع	الموصلية الحرارية واط/متر مربع درجة مئوية	المقاومة الحرارية متر مربع درجة مئوية	المراجع
١	الأسبستس	١٠٥٠	٢٤٠٠	٠,١٧٠	٥,٨٨	(ASHRAE
٢	الأسفلت	٩٢٠	٢١١٠	٠,٧٤٠	١,٣٥	1966)
٣	الطوب العادي	٨٠٠	١٩٧٠	٠,٧٠٠	١,٤٣	"
٤	أسمنت بورتلاند clinker	٦٧٠	١٩٢٠	٠,٢٩	٣٤,٤٨	"
٥	طين (صلصال)	٩٢٠	١٠٠	-	-	"
٦	حجر خرساني	٦٥٣	٢٣٠٠	٠,٩٣٠	١,٠٨	"
٧	تراب مضغوط	-	١٥٠٠	٠,٠٦٤	١٥,٦٣	"
٨	لباد	-	٣٣٠	٠,٠٥٠	٢٠,٠٠	"
٩	طوب محروق	٨٢٩	١٧٩٠	-	-	"
١٠	زجاج	٧٥٠	٢٤٧٠	١,٠٠٠	١	"
١١	جبص	١٠٨٠	١٢٠٠	٠,٤٣٠	٢,٣٣	"

تابع جدول رقم (٣،٧). الخصائص الحرارية الفيزيائية لبعض مواد البناء.

م	مواد البناء	الحرارة النوعية جول/كجم درجة مئوية	الكثافة الكتلية كجم/متر مربع واط/متر مربع درجة مئوية	الموصلية الحرارية واط/متر مربع درجة مئوية	المقاومة الحرارية متر مربع درجة مئوية	المرجع
١٢	الحديد	٥٠٠	٧٢١٠	٤٧,٧٠٠	٠,٠٢	(ASHRAE)
١٣	حجر جيرى	٩٠٩	١٦٥٠	٠,٩٣٠	١,٠٨	1966)
١٤	رخام	٨٨٠	٢٦٠٠	٢,٦٠٠	٠,٣٨	"
١٥	رمل	٨٠٠	١٥٢٠	٠,٣٣٠	٣,٠٣	"
١٦	خشب	٢٧٠٠-١٩٠٠	١١٠٠-٣٧٠	٠,٢٥٠-١١	٩,١٤	"
١٧	ماهوطني	-	٥٥٠	٠,١٣٠	٧,٦٩	"
١٨	زئبق مجلفن	٣٩٠	٧١٣٠	١١٠	٠,٠١	"
١٩	بولستيرين مُمتد	-	٣٠-١٥	٠,٠٤٠-٠,٠٣	٣٣-٢٥	(Perburry)
٢٠	الواح الفلين	-	٣٢٠-١٤٠	٠,٠٦٠-٠,٠٥	٢٠-١٦,٧	1978)
٢١	لوح مجصص	-	٩٦٠	٠,١٦٠	٦,٢٥	"
٢٢	Plasterboard	-	١٣٠٠	٠,٥٠٠	٢,٠٠	"
٢٣	خشب (البلكاك)	-	٥٣٠	٠,١٤٠	٧,١٤	"
٢٤	صخر صفائحى	-	٢٦٠٠	١,٨٠٠	٠,٧٥	"
٢٥	حجر عادى	-	٢٨٠٠-٢٠٠٠	٢,٨٠١,٣	٠,٥٧	"

المصدر: ASHRAE (1966), pp. 37.1 - 37.4 and Perburry (1978), p. 37.

جدول رقم (٨، ١٣). نماذج من المقاومة الحرارية للفراغات الهوائية.

طبيعة الفراغ الهوائي	الرقم	المواد المحيطة بالفراغ الهوائي	المقاومة الحرارية متر مربع - درجة مئوية / واط
فراغ مُهَوًى (Ventilated air Space)	١	فراغ هوائي بين الأسبستس والأسمنت والمواد التي لها انبعاثية عالية .	٠,١٦
بسمكة لا تنقل عن ٢٠ سم	٢	بين السقف المستعار والسقف العلوي	٠,١٤
	٣	المائل المصنوع من الأسبستس أو الحديد .	٠,٢٥
	٤	كالمثال السابق مع استعمال الألومنيوم للسقف العلوي	٠,١١
	٥	فراغ هوائي بين سقف مستعار وسقف علوي مائل مصنوع من البلاط	٠,١٨
		فراغ هوائي في حائط عادي	

جدول رقم (٨، ٣ب). نماذج من المقاومة الحرارية للفراغات الهوائية .

طبيعة الفراغ الهوائي	الرقم	سمك الفراغ ونوعية المواد المحيطة به	اتجاه انتقال الحرارة أفقياً أومن أسفل إلى أعلى	اتجاه انتقال الحرارة — من أعلى إلى أسفل
فراغ غير مهوى	١	٥٠ سم انبعاثية عالية	٠,١١	٠,١١
	٢	٥٠ سم انبعاثية منخفضة	٠,١٨	٠,١٨
	٣	٢٠ سم انبعاثية عالية	٠,١٨	٠,٢١
	٤	٢٠ سم انبعاثية منخفضة	٠,٣٥	١,٠٦
	٥	٢٠ سم انبعاثية عالية من الزنك والحديد	٠,٠٩	٠,١١
	٦	٢٠ سم انبعاثية منخفضة من رقائق العزل الحراري	٠,٦٢	١,٧٦

جدول رقم (٩، ٣). معامل مقاومة السطح الداخلي.

م	وحسلة البناء	مقاومة السطح
١	الحائط	٠,١٢
٢	الأسقف والأرضيات عندما يكون اتجاه الحرارة إلى أسفل	٠,١٥
٣	الأسقف والأرضيات عندما يكون اتجاه الحرارة إلى أعلى	٠,١١

المصدر: Perburry (1978). p. 37.

جدول رقم رقم (١٠، ٣). معامل انتقال الحرارة الكلي للمباني السكنية .

م	القطر	معامل انتقال الحرارة الكلي واط / متر مربع - درجة مئوية		
		الحائط	الأسقف	الأرضيات
١	إنجلترا	١,١٤-٠,٨٥	١,٧-١,١٤	٠,٨٥
٢	فرنسا	١,٩٩-١,١٤	١,٠٢-٠,٠٩	٢,١٠-١,٤٢
٣	ألمانيا	١,٥٣-١,١٩	-	-
٤	هولندا	٠,٩٧-٠,٦٨	٠,٩٧-٠,٦٨	٠,٩٧-٠,٦٨
٥	كندا	٠,٨٥-٠,٥٧	٠,٦٨-٠,٤٧	٠,٨٥-٠,٥٧
٦	الدول الاسكتلندية	٠,٩٠-٠,٦٨	٠,٥٧-٠,٤٦	٠,٥٧-٠,٤٦

المصدر: Van Straaten (1967). p. 139.

التظليل وكاسرات الشمس

• حركة الشمس • كاسرات الشمس

(١، ٤) حركة الشمس

خلق الله عز وجل الشمس وجعلها من آياته في هذا الكون وجعلها من أسباب الحياة على وجه الأرض. والشمس تمثل المصدر الرئيسي للإشعاع الذي يحمل الطاقة التي تعطينا الدفء، والأشعة التي تعطينا الضوء. إن أشعة الشمس تمد النبات بالطاقة التي يحتاجها لعمل التمثيل الضوئي ليمد نفسه بالغذاء وبالتالي غيره من المخلوقات الأخرى كالإنسان والحيوان. ومن فوائد أشعة الشمس أنها تمد جسم الإنسان بفيتامين (د) والذي يُعتبر من العناصر المهمة لبناء الجسم. ومع التقدم الهائل في التقنية ازدادت أهمية الشمس فصارت مصدرا للطاقة الكهربائية التي يتم توليدها بواسطة الخلايا الشمسية. ورغم أن استخراج الطاقة الكهربائية من أشعة الشمس مازال قيد البحث والدراسة والتجارب، إلا أنه يُتوقع خلال وقت قصير أن تصبح أشعة الشمس المباشرة من أهم مصادر الطاقة على الأرض.

يوجد للأرض حركتان هما، دوران الأرض حول نفسها مرة كل أربعة وعشرين ساعة وهو ما يسبب تعاقب الليل والنهار، ودوران الأرض حول الشمس مرة كل سنة وهو ما يسبب تعاقب الفصول الأربعة على الأرض كما هو مبين في (الشكل رقم ١، ٤). إن الحركة الظاهرية للشمس حول الأرض خلال السنة تكون بين مدار السرطان شمالا ومدار الجدي جنوبا. وتكون الشمس عمودية على مدار السرطان (خط عرض ٢٣,٥ درجة شمالا) في شهر يونيه، وهو أقصى خط عرض تصله الشمس في نصف الكرة الشمالي حيث يكون الصيف، بينما يكون الشتاء على نصف الكرة الجنوبي. ويعلدها تتجه الشمس نحو الجنوب

وتكون عمودية على خط الاستواء في شهر سبتمبر ويكون الجوّ معتدلاً في كل المناطق التي تقع حول مدار السرطان شمالاً ومدار الجدي جنوباً (خط عرض ٢٣,٥ درجة جنوباً).

ومن ثمّ تواصل الشمس تحركها جنوباً حتى تصبح عمودية على مدار الجدي في شهر ديسمبر. ويكون الفصل صيفاً في نصف الكرة الجنوبي وشتاء في نصف الكرة الشمالي. وبعدها تتحرك الشمس نحو الشمال لتصبح عمودية على خط الاستواء مرة أخرى في شهر مارس فيكون الجوّ معتدلاً في نصفي الكرة الشمالي والجنوبي.

(٢, ٤) كاسرات الشمس

إن الهدف الأساسي من وجود كاسرات الشمس هو منع أشعة الشمس من السقوط على الغلاف الخارجي للمبنى أو النفاذ إلى الفراغات الداخلية عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي أعلى من المعدلات المطلوبة للراحة الحرارية للإنسان. أما خلال فصل الشتاء البارد لا تكون هناك ضرورة لحماية المبنى من أشعة الشمس، بل قد يكون سقوط الأشعة ونفاذها إلى الفراغات الداخلية ضرورياً من أجل المساعدة في التدفئة. ينقسم تأثير أشعة الشمس إلى قسمين رئيسيين، القسم الأول يتمثل في تدفق الحرارة الناتجة من أشعة الشمس الساقطة على عناصر المبنى غير الشفافة كالأسقف والحوائط إلى الفراغات الداخلية، أما القسم الثاني والذي يُعتبر أكثر فعالية، يتمثل في نفاذ أشعة الشمس المباشرة إلى الفراغ الداخلي من خلال الفتحات والنوافذ والمسودات الشفافة كالزجاج والبلاستيك... الخ. لا شك أن النافذة تُمثل نقطة الضعف الأولى في الغلاف الخارجي للمبنى إذ أنها تُعتبر المنفذ الرئيسي للحرارة. ففي المناطق الباردة أو في بعض المناطق الحارة التي تتميز بشتاء بارد، تتسرب كميات كبيرة من الحرارة إلى الخارج عبر النافذة مقارنة بكميات الحرارة التي تتسرب من خلال الحائط أو السقف. أما في المناطق الحارة، وخاصة في فصل الصيف الحار يكون تدفق الحرارة من الخارج إلى الداخل بواسطة التوصيل عبر زجاج النافذة ويتسرب الهواء الحار من الخارج وبنفاذ أشعة الشمس المباشرة إلى الفراغ الداخلي. إن نفاذ أشعة الشمس المباشرة إلى الفراغ الداخلي يُعتبر من الوسائل الفعالة لتدفق الحرارة

خاصة عندما تكون قوة أشعة الشمس عالية جدا كما هو الحال في معظم المناطق المدارية خلال فصل الصيف، وعندها يكون تظليل النافذة في غاية الأهمية. هنالك العديد من الوسائل التي تتيح حماية النافذة من أشعة الشمس والتي تتمثل في تصميم المبنى أو التظليل بواسطة الأشجار (صورة رقم ٤، ١ و ٤، ٢)، (شكل رقم ٤، ٢) أو التظليل بواسطة كامرات الشمس، والتي تُعتبر الوسيلة الأكثر انتشارا وأكثر فعالية. إذا كان تظليل المبنى من المتطلبات المهمة، فإن تظليل الفتحات والنوافذ يُعتبر ذا أهمية قصوى. إن الحمل الحراري الناتج من أشعة الشمس ينقسم إلى ثلاثة عناصر رئيسية هي؛ أشعة الشمس المباشرة، والأشعة المنعكسة، والأشعة المنتشرة. إن تظليل النافذة لا يقتصر على حمايتها من الأشعة المباشرة فقط، إنما يشتمل أيضا على حمايتها من الأشعة المنعكسة والأشعة المنتشرة. ففي المناطق ذات المناخ الحار الرطب ترتفع نسبة الأشعة المنتشرة في الفضاء الخارجي نتيجة لوجود السحب الكثيفة، بينما ترتفع نسبة الأشعة المنعكسة في المناطق ذات المناخ الحار الجاف نتيجة لوجود المسطحات الصخرية والرملية الخالية من الحشائش. وترتفع معدلات الأشعة المنعكسة في المناطق السكنية نتيجة لوجود المسطحات الخرسانية والطرق المرصوفة والحوائط والمسطحات الزجاجية.



صورة رقم (٤، ١). الواجهة الجنوبية لمبنى سكني تجاري، العليا - الرياض.



صورة رقم (٢، ٤). تفصيلة لكاسرات الشمس المزدوجة على الواجهة الجنوبية.

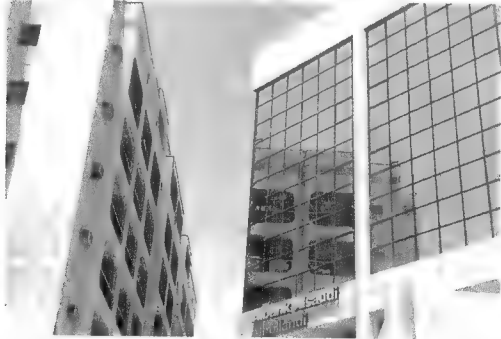


١- التظليل بواسطة شكل المبني

٢- التظليل بواسطة الأشجار

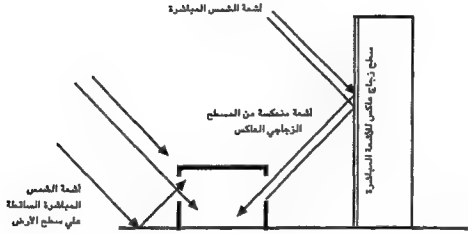
شكل رقم (٢، ٤). التظليل بواسطة الأشجار وتصميم المبني.

إن التطور الهائل في صناعة الزجاج أدى إلى ظهور أنواع كثيرة مختلفة الخصائص (راجع الفصل الثالث). لا شك أن الزجاج العاكس لأشعة الشمس له بعض الفعالية في تخفيض الحرارة الناتجة من أشعة الشمس المباشرة والساقطة علي المبنى، ولكنه لا يخلو من السلبيات (صورة رقم ٤,٣). فعلى سبيل المثال لا الحصر إن الأشعة المنعكسة بواسطة الزجاج العاكس من مبنى قد تسقط علي مبنى مجاور وتسبب في زيادة الحمل الحراري عليه (شكل رقم ٤,٣). إن نوع وحجم وموقع كاسرات الشمس يعتمد على مفعول أشعة الشمس المباشرة، والمنعكسة، والمنتشرة. ويمكن التحكم في مفعول الأشعة المنعكسة إلى حد ما من خلال التحكم في معامل الانعكاسية للأسطح المواجهة للنافذة. يعد استعمال الأشجار والنباتات المتسلقة والحشائش من الوسائل الفعالة للحد من مفعول الأشعة المنعكسة.



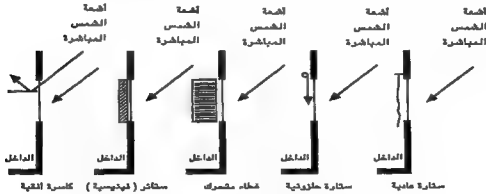
توضح الصورة الواجهة الجنوبية الشرقية لمبنى مركز الراشد التجاري. عندما تسقط أشعة الشمس المباشرة على هذه الواجهة يتم عكس جزء منها على المبنى المقابل، فيكون مفعولها إيجابيا في فصل الشتاء وسلبيا في فصل الصيف.

صورة رقم (٤,٣). مبنى الراشد التجاري بشارع الضباب، الرياض.



شكل رقم (٤, ٣). مفعول الزجاج العاكس على المباني المجاورة.







إن المساحة الشاسعة التي تأتي منها الأشعة المنتشرة يجعل التحكم فيها أمر بالغ الصعوبة، ولكن يمكن التقليل من مفعولها بواسطة الكاسرات والستائر الداخلية أو تلك التي توضع داخل الفراغ الخاص بالزجاج المزدوج (شكل رقم ٤, ٤). أما التحكم في مفعول الأشعة المباشرة يتأتى بفعالية كبيرة بواسطة كاسرات الشمس الخارجية (الصور من رقم ٤, ٤ إلى ٤, ٨). إن كاسرة الشمس المثالية يجب أن توفر الحماية المطلوبة من أشعة الشمس المباشرة دون حجب الرؤية، أو التقليل من فعالية التهوية الطبيعية. يعطي الجدول رقم (٤, ١) نماذج مختلفة من كاسرات الشمس الثابتة وخصائصها (الصور من رقم ٤, ٩ إلى ٤, ١٥).



شكل رقم (٤, ٤). كاسرات الشمس الداخلية.

المصدر: (1991), p. 169 Norbert

جدول رقم (١، ٤). كاسرات الشمس الثابتة وخصائصها.

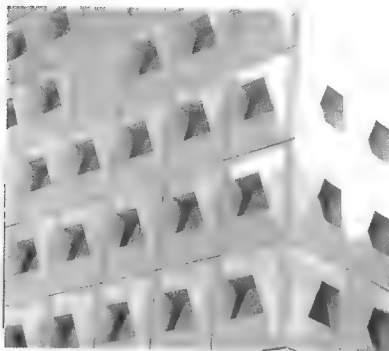
شكل الكاسرة	وصف الكاسرة	التوجيه المفضل	خصائص الكاسرة
	كاسرة أفقية	الجنوبية الشرقية الغربية	لمحجز الهواء الحار وتتراكم عليها الأتربة والشوائب والجليد.
	كاسرة أفقية مكونة من الزعانف.	الجنوبية الشرقية الغربية	حرية حركة الهواء، تراكم قليل للأتربة والجليد.
	كاسرة عمودية من الزعانف	الجنوبية الشرقية الغربية	تساعد في تخفيض الطول الافقي للكاسرة الأفقية. كما أنها تؤثر على مستوى الرؤية.
	كاسرة عمودية	الجنوبية الشرقية الغربية	حرية في حركة الهواء. لا وجود للأتربة والجليد. تحجب الرؤية.
	زعانف عمودية	الشرقية الغربية الشمالية	تحجب الرؤية فعالة في تظليل الواجهة الشمالية.
	زعانف مائلة	الشرقية الغربية	تحجب الرؤية.



صورة رقم (٤, ٤) فندق الخزامى، العليا - الرياض.



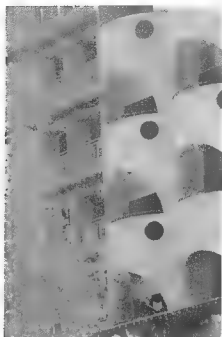
صورة رقم (٤, ٥).
مجمع سكني، شارع
العليا العام - الرياض.



صورة رقم (٤, ٦). كاسرات الشمس المزدوجة.



صورة رقم (٤, ٧). كاسرات الشمس العمودية.



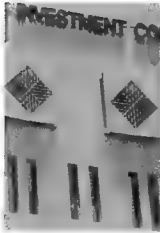
صورة رقم (٨, ٤). كاسرات الشمس المزدوجة لتظليل الفتحات على الواجهة الغربية.



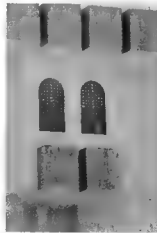
صورة رقم (٩, ٤). المركز الترفيهي جامعة الملك سعود - الرياض.



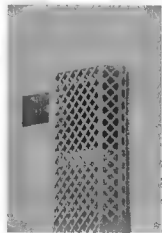
صورة رقم (٤، ١٠). مجمع التأمينات، العليا - الرياض.



صورة رقم (٤، ١٣)



صورة رقم (٤، ١٢)



صورة رقم (٤، ١١)

صور أرقام (٤، ١١)، (٤، ١٢)، (٤، ١٣). نماذج لتظليل الفتحات بواسطة الشريبات.



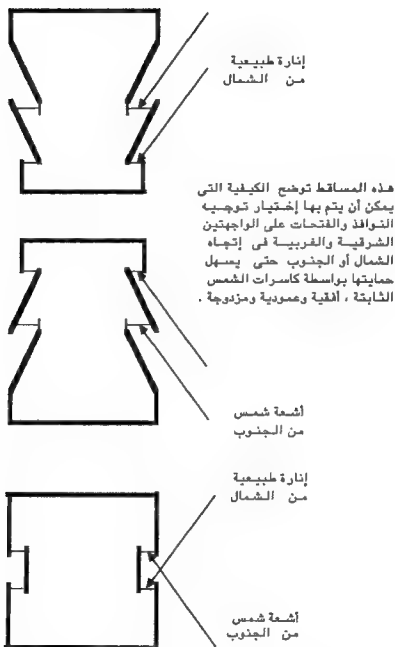
صورة رقم (٤, ٤). فندق الخزامى، العليا - الرياض.



صورة رقم (٤, ٥)
مجمع سكني، شارع
العليا العام - الرياض.

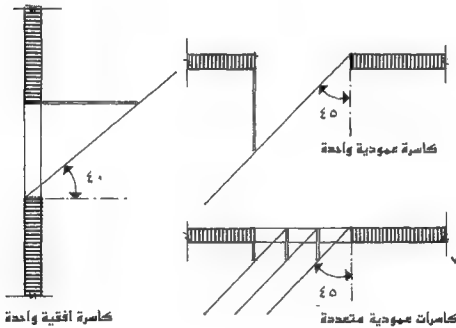
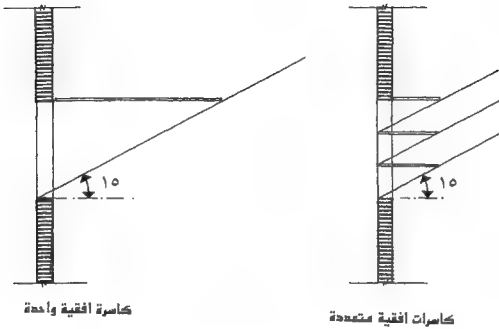
إن الكاسرة الأفقية فعالة جداً عندما تُستعمل لتظليل نافذة على الواجهة الجنوبية خلال فصل الصيف، وذلك لأن زاوية ارتفاع الشمس تكون كبيرة في هذه الفترة، في حين أن فعاليتها تكون محدودة عندما تُستعمل لتظليل نافذة على الواجهة الشرقية، أو الجنوبية الشرقية، أو الجنوبية الغربية، أو الغربية.

أما الكاسرة العمودية تكون فعالة جداً عندما تُستعمل لتظليل نافذة على الواجهة الشمالية. هنالك صعوبة كبيرة في تظليل النوافذ التي توجد على الواجهتين الشرقية والغربية، وذلك لأن زاوية ارتفاع الشمس تكون صغيرة جداً في الصباح الباكر على الواجهة الشرقية، وقبل غروب الشمس على الواجهة الغربية. لا شك في أن الحل الأمثل في هذه الحالة يكمن في تفسادي عمل فتحات على هاتين الواجهتين. أما إذا كانت هنالك ضرورة ملحة لذلك فإن الحل يكون بتوجيه النافذة قدر المستطاع نحو الشمال أو الجنوب (شكل رقم ٤,٥). وفي حالة تعذر اللجوء إلى الحل الأخير يمكن استعمال الكاسرات الأفقية والعمودية معاً، والتي قد تؤدي إلى حجب الرؤية. وبما أن الهدف الأساسي من كاسرات الشمس هو منع أشعة الشمس المباشرة من النفاذ إلى الفراغ الداخلي أثناء الفترة الحارة فإن استعمال عدة وحدات من الكاسرات الصغيرة تؤدي المفعول نفسه الذي تؤديه كاسرة واحدة كبيرة (شكل رقم ٤,٦). إن السبب الرئيسي في انتشار كاسرات الشمس الثابتة يكمن في كونها بسيطة في شكلها، وتركيبها، وقليلة التكلفة والصيانة مقارنة بالكاسرات المتحركة. لا شك أن كاسرات الشمس المتحركة أكثر فعالية من كاسرات الشمس الثابتة، خاصة عندما يكون المطلوب هو تظليل النافذة خلال الفترة الحارة، والسماح لأشعة الشمس بالنفاذ إلى داخل الفراغ خلال الفترة الباردة للمساعدة في التدفئة. يوضح (الشكل رقم ١٤,٧، ب) نماذج مختلفة من كاسرات الشمس. عندما يتم تصميم كاسرات الشمس بنساء على إحدى الزاويتين الأفقية أو العمودية، فإن حدود الظل يجب أن تصطدم بحافة النافذة.















شكل رقم (٥ و ٤). توجيه الفتحات على الواجهتين الشرقية والغربية.

المصدر: [41] Norbert (1991).



شكل رقم (٦، ٤). تصميم الكاسرات الأفقية والعمودية.

نمط التظليل	رسم توضيحي للكاسرة	خصائص الكاسرة
		الكاسرة الأفقية فعالة جدا على الواجهة الجنوبية.
		إن كاسرات الشمس المتوازية والتي على شكل زعانف louvers تساعد في حركة الهواء حولها.
		إن كاسرات الشمس الأفقية المصنوعة من القماش المثلث لها نفس فعالية الكاسرة الأفقية ولكنها مرنة.
		عندما تكون زاوية ارتفاع الشمس منخفضة جدا يمكن استعمال كاسرات على شكل زعانف يتم تعليقها من الكاسرة الأفقية.
		عندما تكون الكاسرة عمودية ومتوازية مع الحائط فإنها تحمي النافذة من أشعة الشمس عندما تكون زاوية ارتفاعها منخفضة.
		كاسرات الشمس الأفقية المتحركة والتي تكون على شكل زعانف يتغير أداؤها نتيجة لاختلاف زاوية الميل.

شكل رقم (٧، ١٤). أمثلة من الكاسرات المختلفة.

المصدر: Olgyay and Olgyay (1963), p. 82

نمط التظليل	رسم توضيحي للكاسرة	خصائص الكاسرة
		إن كاسرات الشمس العمودية فعالة جدا على الواجهتين الشرقية والغربية ويكون أداؤها متماثل تماما .
		إن كاسرات الشمس العمودية غير متعامدة وغير ملتصقة مع الحائط يكون أداؤها غير متماثل وتمنع تدفق الحرارة بواسطة التوصيل
		كاسرات الشمس العمودية المتحركة والتي تكون على شكل زعانف يمكن التحكم فيها حسب حركة الشمس .
		إن أداء كاسرة الشمس المزدوجة عبارة عن أداء كاسرة أفقية وأخرى عمودية ، وعندما تكون الكاسرة العمودية متعامدة مع الحائط يكون أداؤها متماثلا .
		إن أداء الكاسرة المزدوجة وغير المتعامدة مع الحائط يكون أداؤها غير متماثل .
		إن الكاسرات المزدوجة التي تحوي على كاسرات أفقية متحركة تكون فعالة في المناطق الحارة .

شكل رقم (٧، ٤، ب). أمثلة من الكاسرات المختلفة.

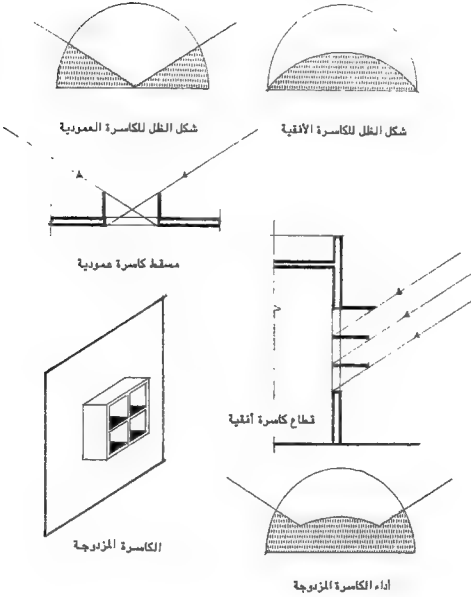
المصدر : Olgyay and Olgyay (1963). p. 83

- هذا و تنقسم كاسرات الشمس إلى ثلاثة أقسام رئيسية وهي كالآتي:
- (أ) كاسرات الشمس الأفقية ويتم تصميمها بناء على قيمة زاوية الظل العمودية.
- (ب) كاسرات الشمس العمودية ويتم تصميمها بناء على قيمة زاوية الظل الأفقية.
- (ج) كاسرات الشمس المزدوجة ويتم تصميمها بناء على قيمة زوايتي الظل العمودية والأفقية معا.

إذا تم تصميم كاسرة الشمس لحماية النافذة من سقوط أشعة الشمس عليها في وقت محدد، فهي بالتأكيد سوف تقوم بحماية النافذة من أشعة الشمس في أوقات أخرى. إن أداء كاسرات الشمس خلال العام يمكن تحديدها بواسطة البيانات الخاصة بمسار الشمس ومنقلة الظلال. إن الكاسرة الأفقية تتميز بظلالها العمودية ويأخذ أداؤها شكل القوس القطاعي كما هو واضح في الشكل رقم (٤,٨). ويمكن تحديد القوس الموجود على منقلة الظلال بواسطة قيمة زاوية الظل العمودية (β_{sh}) على بياني مسار الشمس. وتتميز الكاسرة العمودية بظلالها الأفقية، ويتمثل أداؤها في قطاع أو قطاعين من الدائرة، والتي يمكن تحديدها بواسطة الخطوط الإشعاعية من مركز منقلة الظلال بواسطة الزاوية الأفقية (α_{sh}). أما الكاسرة المزدوجة فهي عبارة عن المفعول المشترك للكاسرة الأفقية والعمودية.

قبل تصميم كاسرات الشمس هناك بعض النقاط المهمة التي يجب دراستها والتحقق منها، وتشمل الآتي:

- (أ) الاختيار المناسب لحجم وتوجيه النافذة بما يلائم حركة الشمس ومتطلبات التهوية الطبيعية والعناصر الأخرى كالخصوصية والضوضاء والرؤية. . . الخ.
- (ب) تحديد الفترة الزمنية الحارة التي تستوجب عدم السماح لأشعة الشمس من النفاذ إلى الفراغات الداخلية.
- (ج) تحديد زوايا الشمس الأفقية والعمودية خلال الفترة الحارة.
- (د) تحديد زوايا الظلال الأفقية والعمودية خلال الفترة الحارة.



شكل رقم (٨، ٤). أداء الكاسرات الأفقية والعمودية والمزدوجة.

المصدر: Szokolay (1980), p. 318 and 319

(١, ٢, ٤) تحديد زوايا الشمس

خلال رحلة الشمس بين مدار السرطان شمالا ومدار الجدي جنوبا، تختلف زوايا سقوط الشمس العمودية بالنسبة لنقطة ما على سطح الأرض باختلاف الأيام خلال السنة. إذا كانت هذه النقطة تقع على مدار السرطان تكون الشمس عمودية عليها في يوم ٢٢ يونيه، أما في باقي أيام السنة تسقط أشعة الشمس عليها بزاوية مائلة تختلف باختلاف ترتيب اليوم خلال السنة، وتكون هذه الزاوية أقل ما يمكن في ٢٢ ديسمبر عندما تكون الشمس عمودية على مدار الجدي جنوبا. وبذلك يتم قياس الزاوية العمودية من الخط الأفقي وموقع خط ارتفاع الشمس فوق خط الأفق. أما الزاوية الأخرى لسقوط أشعة الشمس فهي الزاوية الأفقية أو زاوية الاتجاه والتي تختلف باختلاف الوقت خلال اليوم. والزاوية الأفقية هي الزاوية التي تقع بين موقع الشمس الأفقي في اتجاه الشرق أو الغرب من الجنوب كما هو واضح في الشكل رقم (٩, ٤). ويمكن تحديد زوايا سقوط أشعة الشمس العمودية والأفقية لأية نقطة وفي أي وقت بالطرق التالية:

(أ) بواسطة المعادلات الرياضية.

(ب) بواسطة بيانات مسار الشمس .

(١) تحديد زوايا الشمس بواسطة المعادلات الرياضية

يمكن تحديد زوايا الشمس الأفقية والعمودية بواسطة ثلاث معادلات رياضية كالآتي (سعيد، ١٩٩١م):

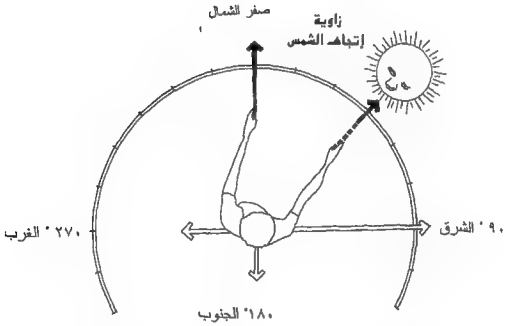
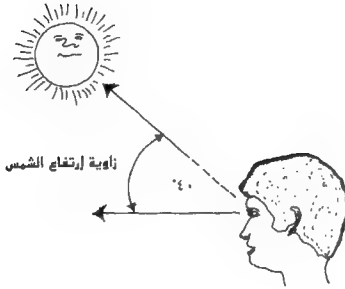
١ - المعادلة الأولى والتي تحدد زاوية الانحراف في محاور الأرض:

$$(١, ٤) \quad \theta = 23.45 \sin \left(360 \times \frac{284 + n}{365} \right)$$

$$\theta = 23.45 \sin [0.986 (\quad)]$$

٢ - المعادلة الثانية لتحديد الزاوية العمودية أو زاوية الارتفاع:

$$(٢, ٤) \quad \sin \beta = \sin \theta \times \sin L \times \cos \theta \times \sin L \times \cos \theta$$



شكل رقم (٩, ٤). زوايا الشمس الأفقية والعمودية.

٣ - المعادلة الثالثة لتحديد الزاوية الأفقية أو زاوية الإتجاه:

$$(٤, ٣) \quad \sin \alpha = \frac{\cos \alpha \times \sin \theta - \cos \theta \times \sin L \times \cos t}{\cos \beta}$$

θ = زاوية الانحراف في محاور الأرض.

n = ترتيب اليوم بالنسبة للسنة ابتداء من أول يناير.

L = خط العرض عند نقطة الملاحظة.

t = الزاوية الزمنية وهي تساوي ١٥° لكل ساعة في اليوم وهي تبدأ من الصفر عند الساعة ١٢ ظهراً، وتكون بالموجب بعد الساعة ١٢ ظهراً وبالسالب قبل الساعة ١٢ ظهراً.

α = الزاوية الأفقية أو زاوية اتجاه الشمس من الشمال.

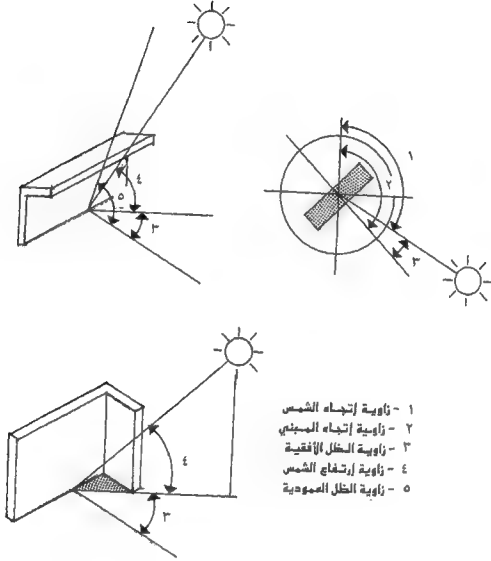
β = الزاوية العمودية أو زاوية ارتفاع الشمس من الأفق.

أما تحديد طول الظلال فهو يعتمد على وجود القيم المختلفة للزوايا الأفقية والزوايا العمودية بواسطة القياس الفعلي من محطات الأرصاد لكل ساعة من ساعات النهار ليوم يمثل كل شهر من شهور السنة. ويمكن حساب الظل لكل ساعة بواسطة المعادلة التالية:

$$(٤, ٤) \quad \frac{1}{\text{ظل الزاوية العمودية لسقوط الشمس}} = \text{طول الظلال}$$

وقد تمّ عمل دراسة قيمة ومفصلة بواسطة المعادلة المذكورة أعلاه لتحديد روايا الظلال لدولة الإمارات العربية المتحدة (فرمان، ١٩٨٩م). ومن أجل تصميم كاسرات الشمس لابد من تحديد زاوية الظل الأفقية (α_{sh}) وزاوية الظل العمودية (β_{sh}). وتعتمد قيمة زوايا الظل الأفقية والعمودية على الزاوية الأفقية (α) والزاوية العمودية (β) لسقوط أشعة الشمس، وأيضاً تعتمد على توجيه المبنى. ويمكن تحديد هذه الزوايا (الشكل رقم ١٠، ٤)، بواسطة المعادلات التالية:

$$(٤, ٥) \quad \alpha_{sh} = H - \alpha \quad \tan \beta_{sh} = \frac{\tan \beta}{\cos \alpha_{sh}}$$



شكل رقم (١٠، ٤). زوايا الشمس وزوايا الظلال الأفقية والعمودية.

المصدر: Koenigsberger (1973), p. 112

(٤، ٦)

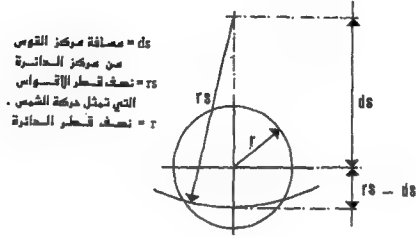
$$\tan \beta_{sh} = \tan \beta \times \cos^{-1} \alpha_{sh}$$

α_h	=	زاوية الظل الأفقية.
H	=	الزاوية الأفقية التي تمثل اتجاه المبنى من الشمال.
α	=	الزاوية الأفقية لسقوط أشعة الشمس.
β_h	=	زاوية الظل العمودية.
β	=	الزاوية العمودية لسقوط أشعة الشمس.
\tan	=	ظل الزاوية.
\cos	=	جيب تمام الزاوية.
\sin	=	جيب الزاوية.

(ب) بيانات مسار الشمس

هنالك العديد من المراجع التي احتوت على عدد من البيانات التي تشمل مسار الشمس solar charts لخطوط العرض المختلفة (Koenigsberger, 1973). وفي كثير من الحالات لا يوجد البياني الخاص والذي يمثل مسار الشمس لموقع معين، وفي هذه الحالة غالباً ما يلجأ المصمم إلى أخذ البياني الموجود لأقرب خط عرض. ويكون بذلك قد قام بتقريب ثلاثة أشياء رئيسية هي خط العرض، والتاريخ، والزمن مما يؤثر على صحة قيمة الزوايا. ومن جهة أخرى فإن وضع البيانات التي تمثل مسار الشمس لكل المواقع الموجودة في العالم يعد غير عملي وذلك لأن هذه المهمة تحتاج إلى جهد كبير وحيز ضخم لتسجيل هذه المعلومات. ولكل هذه الأسباب يُستحسن أن يقوم المصمم بوضع البياني الذي يمثل مسار الشمس للموقع الذي يصمم له. وهناك طريقة سهلة وبمبسطة لوضع البياني الخاص بمسار الشمس لأي موقع وذلك باتباع الخطوات التالية :

- ١ - يتم رسم دائرة بقطر (d) ويفضل أن يكون القطر في حدود ٣٠٠ مم، ونصف القطر (r) ١٥٠ مم، كما هو واضح على الشكل رقم (١١، ٤).
- يُحدِّد القطر الرأسي في الاتجاه الشمالي لتحديد موقع مراكز الأقواس التي تمثل حركة الشمس.



شكل رقم (١١، ٤). طريقة رسم الأقواس التي تمثل مسار الشمس.

المصدر: Szokolay (1980), p 311

٢ - لكل قوس يمثل حركة الشمس في تاريخ معين يمكن حساب نصف القطر (rs) ومسافة مركز القوس من مركز الدائرة (ds) بواسطة المعادلات التالية:

$$(٤, ٧) \quad rs = \frac{r \times \cos \theta}{\sin L \times \sin \theta}$$

$$(٤, ٨) \quad ds = \frac{r \times \cos L}{\sin L \times \sin \theta}$$

حيث

L = خط العرض عند نقطة الملاحظة.

θ = زاوية الانحراف في محاور الأرض.

إن زاوية الانحراف في محاور الأرض تتباين على مدى أربع سنوات. وبواسطة المعادلة التي ورد ذكرها أعلاه فقد تم تحديد زوايا الانحراف (θ) لسبعة مسارات للشمس والتي تعتبر كافية لوضع البياني وهي (Szokolay, 1980):

٢٣, ٤٥	١ - ٢٢ يونيو
١٨, ٧٠	٢ - ١٥ مايو و ٣٠ يوليو
٩, ٣٨	٣ - ١٥ أبريل و ٣٠ أغسطس
صفر	٤ - ٢١ مارس و ٢٣ سبتمبر
٨, ٧٣	٥ - ١٥ أكتوبر و ٢٨ فبراير
١٨, ٣٣	٦ - ١٥ نوفمبر و ٢٨ يناير
٢٣, ٤٥	٧ - ٢٢ ديسمبر

وبعد ذلك يتم رسم خطوط مسار الشمس. بالنسبة للأقواس التي تمثل خطوط مسار الشمس خلال فصل الشتاء تكون هنالك ضرورة إلى فرجار كبير.

٣ - أما بالنسبة لرسم الخطوط التي تمثل الزمن فيجب تحديد المسافة (dt) بواسطة المعادلة التالية:

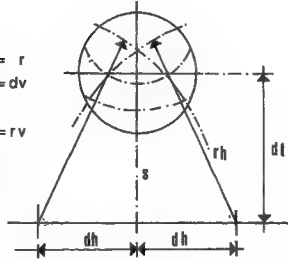
$$dt = r \times \tan L \quad (٩, ٤)$$

ومن ثمّ يتم رسم خط مواز للقطر الأفقي للدائرة الأساسية (E-W) الممتد من الشرق إلى الغرب ويبعد المسافة (dt) من مركز الدائرة. وعلى هذا الخط تقع مراكز كل الأقواس التي تمثل الزمن (الشكل رقم ١٢, ٤). ويمكن تحديد نصف القطر (rh)، والمسافة الأفقية لمركز القوس (dh)، من القطر الرأسي للدائرة الأساسية (N-S) بواسطة المعادلات التالية:

$$rh = \frac{r}{\cos L \times \sin(15H)} \quad (١٠, ٤)$$

$$dh = \frac{r}{\cos L \times \tan(15H)} \quad (١١, ٤)$$

r = نصف قطر الدائرة
 dv = بعد مركز الأقواس
 من مركز الدائرة
 $r \sin \theta$ = نصف قطر الأقواس
 التي تمثل زاوية
 الظل الصعودية



شكل رقم (١٢، ٤). طريقة رسم الأقواس التي تمثل الزمن.

المصدر: Szokolay (1980). p. 311

٤ - لكل قوس يمثل حركة الشمس في تاريخ معين يمكن حساب نصف القطر (rs) ومسافة مركز القوس من مركز الدائرة (ds) بواسطة المعادلات التالية:

(٤، ١٢)

$$rs = \frac{r \times \cos \theta}{\sin L \times \sin \theta}$$

(٤، ١٣)

$$ds = \frac{r \times \cos L}{\sin L \times \sin \theta}$$

حيث

rh = نصف القطر للقوس الذي يمثل مسار الشمس لتاريخ معين.

r = نصف قطر الدائرة الأساسية.

dh = بُعد مركز القوس من مركز الدائرة.

L = خط العرض عند نقطة الملاحظة.

H = عدد الساعات.

يتم رسم الأقواس من الناحية اليمنى للفترة بعد الظهر، والأقواس من الناحية

اليسرى للفترة الصباحية أي قبل الظهر . وللتحقق من صحة الرسم يكون التقاطع لكل من الساعة السادسة صباحا والساعة السادسة مساء مع خط مسار الشمس للاعتدالين في النقطة نفسها شرقا وغربا على التوالي .

٥ - وبعد ذلك يتم رسم خطوط إشعاعية من مركز الدائرة وبزوايا متساوية من صفر إلى ٣٦٠ لتقاطع محيط الدائرة، وذلك لتحديد الزوايا الأفقية أو زوايا اتجاه أشعة الشمس . أما بالنسبة للزوايا العمودية أو زوايا ارتفاع الشمس، فيتم تحديدها بواسطة رسم مجموعة من الدوائر المتحدة المركز والتي يتم تحديد نصف قطرها (r_β) لكل زاوية ارتفاع (β) بواسطة المعادلة التالية :

$$r_\beta = r \frac{\cos \beta}{1 + \sin \beta} \quad (١٤, ٤)$$

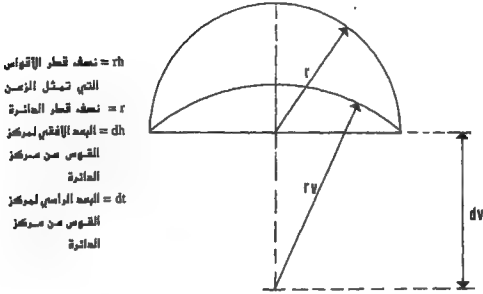
حيث

r_β = نصف قطر الدائرة التي تمثل زوايا ارتفاع الشمس .
 β = زاوية ارتفاع الشمس .

إن الخطوط الإشعاعية التي تمثل الزوايا الأفقية والدوائر التي تمثل الزوايا العمودية يمكن رسمها على سطح شفاف في شكل منقلة وذلك لتفادي الخلط مع الخطوط التي تمثل مسارات الشمس . يمكن استعمال البياني الخاص بمسار الشمس والمذكور أعلاه عندما يكون توجيه المبنى شمال جنوب، أي أن محاور المبنى تتطابق تماما مع محاور البياني الشمسي . أما في حالة وجود انحراف للمبنى وعدم تطابق محاوره مع محاور البياني الشمسي تكون هنالك ضرورة لاستعمال منقلة الظلال والتي يمكن تصميمها باتباع الخطوات التالية :

(أ) يتم رسم نصف دائرة بنفس مقدار نصف القطر للدائرة الأساسية والخاصة بمخطط مسار الشمس مع رسم القطر الأفقي والقطر الرأسي لنصف الدائرة كما هو واضح في الشكل رقم (١٣, ٤) .

(ب) ويتم تحديد نقطة الصفر وهي النقطة التي يتقاطع فيها الخط الرأسي مع محيط الدائرة، ومن مركز الدائرة يتم رسم الخطوط الإشعاعية إلى محيط الدائرة يمينا من صفر إلى +٩٠ ويسارا من صفر إلى -٩٠ وهذه الخطوط تمثل زوايا الظل الأفقية .



شكل رقم (١٣، ٤). طريقة رسم منقلة الظلال.

المصدر: Szokolay (1980), p. 314

(ج) إن امتداد القطر الرأسي إلى أسفل يحدد مواقع مراكز الدوائر لكل الأقواس التي تمثل الزوايا العمودية. ويتم تحديد نصف القطر ومسافة مراكز الأقواس من مركز نصف الدائرة بواسطة المعادلات التالية:

$$(٤, ١٥) \quad r_v = \frac{r}{\cos \beta_{sh}}$$

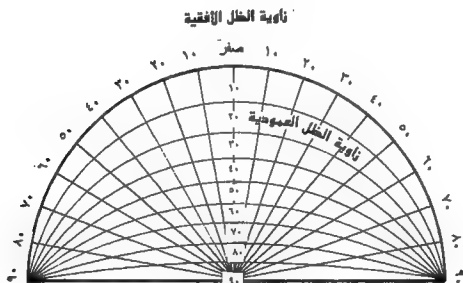
$$(٤, ١٦) \quad dv = r \times \tan \beta_{sh}$$

حيث

 β_{sh} = زاوية الظل العمودية.

وبعد ذلك يتم رسم الأقواس التي تُحدد زوايا الظل العمودية كما هو واضح في الشكل رقم (٤، ١٤). وبالتالي يكون بياني منقلة الظلال قد اكتمل.

ويتم تحويل هذا البياني إلى سطح مادة شفافة حتى يسهل استعمالها مع المخطط الخاص ببياني مسار الشمس. متقلة الظلال عبارة عن نصف دائرة بنفس قطر الدائرة الخارجية للمخطط الذي يمثل بياني مسار الشمس، تحتوي على تسعة أقواس تمثل زوايا الشمس العمودية. القوس الخارجي يمثل زاوية الصفر، ومركز الدائرة يمثل الزاوية ٩٠°. أما الزوايا الأفقية فقد تمّ تمثيلها بواسطة أنصاف الاقطار التي تقاطع القوس الخارجي. تمثل نقطة تقاطع نصف القطر العمودي مع القوس الخارجي زاوية الصفر وتزداد هذه الزاوية باتجاه اليمين واليسار حتى تصل إلى ٩٠°.

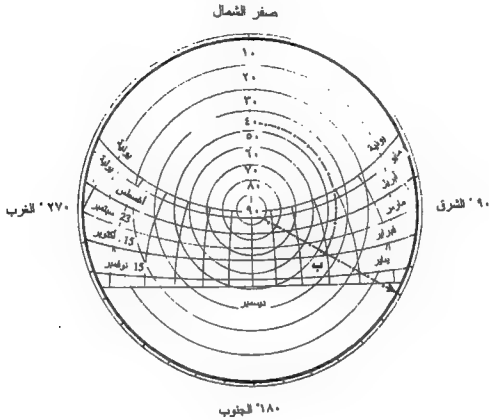


شكل رقم (١٤، ٤). منقلة الظلال.

المصدر: Szokolay (1980). p. 314

ولتحديد زوايا الشمس الأفقية والعمودية لأي وقت يمكن اتباع الخطوات التالية (الشكل رقم ١٥، ٤):

١ - يتم تحديد النقطة (ب) على مسار الشمس الخاص بخط العرض عند تقاطع القوس الذي يمثل الشهر والقوس الذي يمثل الزمن.



شكل رقم (١٥، ٤). تحديد زوايا الشمس.

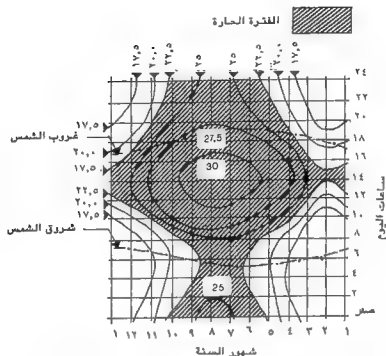
- ٢ - يتم وضع منقلة الظلال الشفافة على بياني مسار الشمس مع التأكد من تطابق مركز البياني مع مركز المنقلة مع وضع قاعدة المنقلة لتماثل اتجاه المبنى.
- ٣ - الخط الإشعاعي المتفرع من مركز المنقلة والذي يمر بالنقطة (ب) يقطع محيط المنقلة ليحدد قيمة زاوية الظل الأفقية.
- ٤ - أما الخط المقوس الموجود في منقلة الظلال والذي يمر بالنقطة (ب) الموضحة على بياني مسار الشمس يحدد زاوية الظل العمودية.

(٢, ٢, ٤) تحديد الفترة الحارة

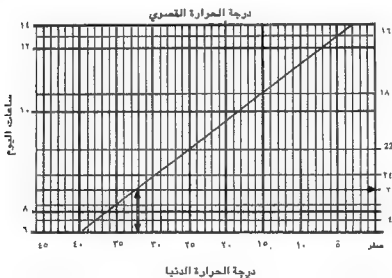
إن أساس تصميم كاسرات الشمس يعتمد على تحديد الفترة الحارة over heated period والتي يمكن تعريفها بأنها الفترة الزمنية التي تستوجب الحماية الكاملة للفتحات من أشعة الشمس، وبالتالي منع أشعة الشمس من النفاذ إلى الفراغ الداخلي. والمعيار الأساسي لتحديد الفترة الحارة هو المعدل الحراري الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية للإنسان (Koenigsberger, 1973). عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي مساوية أو أعلى من المعدل الحراري الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية، يجب في هذه الحالة تظليل النوافذ والفتحات تظليلاً كاملاً، والتأكد من عدم نفاذ أشعة الشمس إلى داخل المبنى. في بعض المناطق ذات المناخ الحار الرطب والمناطق ذات المناخ الحار الجاف قد تمثل الفترة الحارة معظم أو كل أيام السنة. قد تنخفض درجة حرارة الهواء أثناء الليل في هذه المناطق إلى معدلات أقل من المعدل الحراري الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية، وبما أنه لا توجد أشعة شمس في الليل فإن هذا الوقت يكون خارج الفترة الحارة.

أما في المناطق الباردة فإن درجة حرارة الهواء الخارجي غالباً ما تكون أقل من المعدل الحراري الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية مما يستوجب الاستعانة بأشعة الشمس لتدفئة الفراغ الداخلي، وبالتالي لا تكون هنالك ضرورة لتظليل الفتحات، بل قد يكون دخول أشعة الشمس غاية يسعى إليها المصمم. أما بالنسبة لبعض المناطق ذات المناخ المعتدل فإن معدلات درجة حرارة الهواء الخارجي في منتصف الصيف قد تكون أعلى من المعدل الحراري الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية وبالتالي تكون هنالك ضرورة ملحة للتظليل الكامل. وفي فصل الشتاء قد تكون درجة حرارة الهواء الخارجي أقل بكثير من المعدل الحراري الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية، وفي هذه الحالة يكون دخول أشعة الشمس إلى الفراغ الداخلي مفيداً جداً من أجل التدفئة. أما في فصلي الربيع والخريف فقد يكون المطلوب التظليل الجزئي للنوافذ والفتحات، وذلك بالسماح لأشعة الشمس بالنفاذ إلى الفراغات الداخلية أثناء الصباح الباكر، وبعد العصر وحجبها في وقت الظهيرة حينما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي مرتفعة جداً. إن الطريقة

المثالية والتي يمكن الاعتماد عليها في تحديد الفترة الحارة هي بواسطة رسم الخطوط الكنتورية لدرجات الحرارة المتساوية على البياني الذي يمثل الإحداثي الرأسي له خلال ساعات اليوم والإحداثي الأفقي له خلال شهور السنة. ويتم على هذا البياني تحديد النقاط التي تمثل متوسط درجات الحرارة لكل شهر وبالتالي يمكن رسم الخطوط الكنتورية التي تمثل متوسط درجات الحرارة المتساوية كما هو واضح في الشكل رقم (٤، ١٦)، (سميد، ١٩٩١م). وفي حالة تعذر الحصول على متوسط درجات الحرارة لساعات اليوم يمكن الافتراض أن المعدل الشهري لدرجات الحرارة القصوى تمثل أعلى درجة حرارة أثناء اليوم، والتي غالباً ما يتم رصدها ما بين الساعة ١٤،٠٠ والساعة ١٥،٠٠ بعد الظهر، في حين أن المعدل الشهري لدرجات الحرارة الدنيا تمثل أدنى درجة حرارة أثناء اليوم، والتي غالباً ما يتم رصدها ما بين الساعة ٥،٠٠ والساعة ٦،٠٠ صباحاً. وعلى افتراض أن السباين في درجات الحرارة أثناء اليوم يحدث في شكل تباني جيبي \sinusoidal بين الحد الأعلى والحد الأدنى فإنه يمكن تحديد درجات الحرارة اليومية بالتقريب بواسطة البياني الموضح في الشكل رقم (٤، ١٧). ومن الاعتبارات المهمة جداً والتي لا بد من ذكرها هنا الاختلاف بين التوقيت المحلي، والذي عادة ما تستعمله الجهات الحكومية التي تقوم برصد البيانات المناخية، والتوقيت الشمسي الذي هو الأساس في وضع البيانات الخاصة بمسار الشمس. يتم تحديد النقطة التي تمثل متوسط درجة الحرارة الدنيا اليومية على الخط الأفقي السفلي، وتحديد النقطة التي تمثل متوسط درجة الحرارة القصوى اليومية على الخط الأفقي العلوي على البياني في الشكل رقم (٤، ١٧) ومن ثم يتم توصيل النقطة على الخط العلوي بالنقطة على الخط السفلي. ومن نقاط التقاطع بين الخط المستقيم والخطوط الأفقية التي تمثل ساعات اليوم، يتم عمل إسقاطات عمودية إلى أعلى أو إلى أسفل لتحديد درجات الحرارة لكل ساعة من ساعات اليوم. وبعد ذلك يتم تحديد الخطوط الزمنية التي تمثل شروق الشمس وغروبها، وخطوط درجات الحرارة التي تمثل الحد الأدنى لمتطلبات الراحة الحرارية على بياني درجات الحرارة المتساوية (الشكل رقم ٤، ١٦). وبالتالي فإن الفترة الحارة، والتي



شكل رقم (١٦، ٤). الخطوط الكنتورية لدرجات الحرارة المتساوية لمدينة الرياض.
المصدر: سعيد (١٩٩١). ص ٢٠.



شكل رقم (١٧، ٤). بياني حساب درجات الحرارة خلال ساعات اليوم.

المصدر: Koenigsberger (1973). p. 62

تتطلب منع أشعة الشمس من النفاذ إلى الفراغات الداخلية، هي تلك المساحة المحصورة بين خطوط درجات الحرارة المتساوية والتي تمثل الحد الأدنى لمتطلبات الراحة الحرارية وخطوط الزمن التي تمثل شروق الشمس وغروبها. عند تحديد منطقة الراحة الحرارية يجب أن تؤخذ في الاعتبار كل العناصر التي تؤثر على إحساس الإنسان بالمناخ المحيط، ومن هذا المنطلق يمكن الاعتماد على معيار درجة الحرارة الفعالة المصححة واستعمالها كأساس لتحديد الفترة الحارة ولرسم الخطوط الكتورية التي تمثل درجات الحرارة المتساوية. أما في حالة استعمال درجة الحرارة الجافة، فيمكن تحديد المعدل الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية من الجدول رقم (٤، ٢).

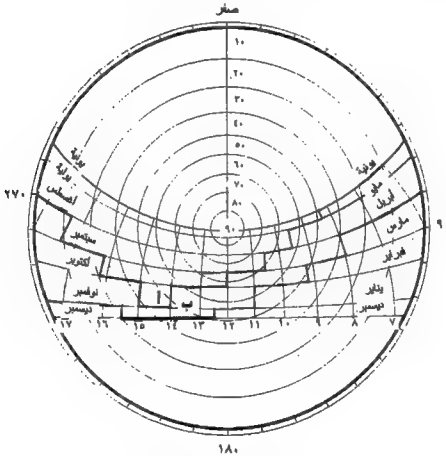
الجدول رقم (٤، ٢). الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية

المعدل السنوي لمتوسط درجات الحرارة			متوسط الرطوبة النسبية
١٥>	٢٠-١٥	٢٠<	
٢١	٢٣	٢٦	%٣٠>
٢٠	٢٢	٢٥	%٥٠-٣٠
١٩	٢١	٢٣	%٧٠-٥٠
١٨	٢٠	٢٢	%٧٠<

المصدر: Szokolay (1980), p. 320

بعد ذلك يمكن نقل هذه البيانات إلى بياني مسار الشمس، والذي يمثل بياني آخر معتمد على ساعات اليوم وشهور السنة والاختلاف الوحيد بينهما هو أن إحداثيات البياني الخاص بمسار الشمس عبارة عن منحنيات وليست خطوطاً مستقيمة. ولكن هناك مشكلة أساسية بالنسبة للبيانات الخاصة بمسار الشمس إذ أن معظم خطوط مسارات الشمس تمثل يومين لشهرين مختلفين أثناء السنة. وبالتالي فإن تحويل المعلومات التي توافرت من البياني الأول في الشكل رقم (٤، ١٦) إلى البياني الذي يمثل مسار الشمس الموضح في الشكل رقم (٤، ١٨) سوف يعطي خطين مختلفين، الخط الأول يمثل الفترة من ديسمبر إلى مايو، والخط الثاني يمثل الفترة من يونيو إلى فبراير. وبما أن درجات الحرارة خلال هاتين الفترتين غالباً ما

تكون مختلفة تماماً، فإن الخطين الكنتوريين اللذين يمثلان لا يتطابقان. وبالتالي نحصل على تعريفين للفترة الحارة، التعريف الأول ويحدده الخط (أ) والذي يمثل الفترة من يونية إلى نوفمبر، والتعريف الثاني ويحدده الخط (ب) والذي يمثل الفترة من ديسمبر إلى مايو. ويمكن للمصمم في هذه الحالة اللجوء إلى كاسرات الشمس المتحركة والتي يمكن التحكم فيها حسب متطلبات كل فترة. أما في حالة استعمال كاسرات الشمس الثابتة، فيجب على المصمم دراسة البيانات المناخية وتحليلها، ومن ثم التوصل إلى الحل الأمثل. وكمثال لذلك يمكن تحليل البيانات المناخية الموضحة في الشكل رقم (١٨، ٤) كالآتي:



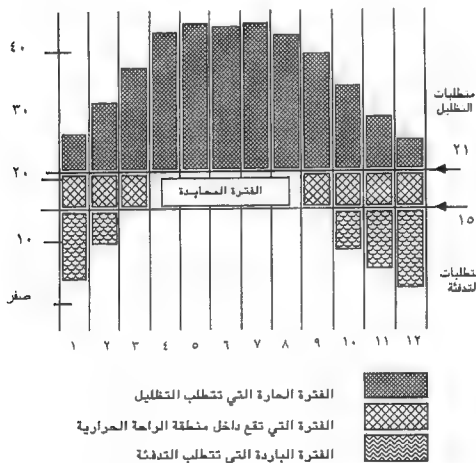
شكل رقم (١٨، ٤). متطلبات التقليل.

المصدر: سعيد (١٩٩١). ص ٢٠.

في يوم ٢٣ سبتمبر تكون هنالك ضرورة للتظليل للفترة من الساعة ٨,٠٠ صباحا إلى وقت الغروب، وفي يوم ٢١ مارس، عندما تأخذ حركة الشمس نفس المسار، يكون التظليل ضروريا للفترة من الساعة ١٠,٠٠ صباحا إلى الساعة ١٧,٣٠ بعد العصر. وبذلك يكون هنالك تضارب في متطلبات التظليل خلال الفترتين من الساعة ٨,٠٠ إلى الساعة ١٠,٠٠ صباحا ومن الساعة ١٧,٣٠ بعد العصر إلى وقت الغروب. وعليه يكون من واجب المهندس المعماري عمل تحليل وتقويم دقيق من أجل الوصول إلى الحل الأمثل. يجب تحديد أي البدلين أخف ضررا بالنسبة للراحة الحرارية للإنسان، هل هو البديل الأول والذي يتمثل في السماح لأشعة الشمس بالتفاذ إلى داخل الفراغ في شهر سبتمبر، على الرغم من أنه غير مرغوب فيها وقد يسبب عدم الراحة الحرارية نتيجة للحرارة الإضافية، أم البديل الثاني والذي يتمثل في حجب أشعة الشمس خلال شهر مارس ومنعها من التفاذ إلى داخل الفراغ على الرغم من أنه مرغوب فيها من أجل تدفئة الفراغ الداخلي.

وهناك طريقة أخرى مختصرة وبمبسطة يمكن استعمالها لتحديد الفترة الحارة والباردة والمعتدلة وهي تعتمد على قيمة درجة الاتزان الحراري للمبنى (BPT) balance point temperature. إن قيمة درجة الاتزان الحراري للمبنى تعتمد على نوعية وحجم المبنى ونسبة مساحة غلافه الخارجي إلى حجمه الكلي. بشكل عام يمكن تقسيم المباني إلى قسمين؛ القسم الأول يشتمل على المباني البسيطة والتي تتكون من طابق واحد وعدد محدود من الفراغات الداخلية. في هذه الحالة تكون نسبة مساحة الغلاف الخارجي إلى الحجم الكلي للمبنى كبيرة جدا، وبالتالي فإن مفعول المناخ الخارجي على المناخ الداخلي يكون واضحا. والقسم الثاني يشتمل على المباني الكبيرة والتي تتكون من عدة طوابق وتحتوي على العديد من الفراغات الداخلية. تكون في هذه الحالة نسبة مساحة الغلاف الخارجي إلى حجم المبنى صغيرة جدا، وبالتالي فإن مفعول المناخ الخارجي على المناخ الداخلي يكون محدودا. إن درجة الاتزان الحراري للقسم الأول من المباني حوالي ١٥,٥ م، وبالنسبة للقسم الثاني من المباني حوالي ١٠ م (Norbert, 1991). في هذه الحالة تكون التدفئة ضرورية للقسم الأول من المباني عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي أقل من ١٥,٥ م، وضرورية بالنسبة للقسم الثاني من المباني عندما تكون

درجة حرارة الهواء الخارجي أقل من 10°C . وبما أن الفرق بين الحد الأدنى والحد الأعلى للراحة الحرارية يتراوح من 5°C إلى 6°C ، فإن الحماية من أشعة الشمس المباشرة (التظليل) تكون ضرورية بالنسبة للقسم الأول من المباني عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي أعلى من 21°C ($5,5 + 15,5$)، وبالنسبة للمباني من القسم الثاني تكون الحماية من أشعة الشمس ضرورية عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي أعلى من $15,5^{\circ}\text{C}$ ($5,5 + 10,0$). ومن أجل إعطاء مثال مبسط فقد تم استعمال هذه الطريقة لتحليل مناخ الرياض وتم تلخيص النتائج كما هو واضح في الشكل رقم (١٩، ٤).



شكل رقم (١٩، ٤). تحديد الفترات الحارة، الباردة، والمتعددة لمدينة الرياض.

(٤, ٢, ٣) متطلبات التظليل لمدينة الرياض

إن من أهم المتطلبات التي يجب أن تكون من ضمن أساسيات التصميم المناخي للمناطق الحارة هي حماية المبنى عامة والفتحات خاصة من أشعة الشمس المباشرة خلال الفترة الحارة. وللوصول إلى أفضل البدائل المتاحة لحماية المبنى من أشعة الشمس لابد من دراسة مسار الشمس وتحديد زوايا الظلال. لقد تم تصميم بياني مسار الشمس الخاص بمدينة الرياض بناء على الطريقة التي ورد ذكرها في هذا الباب. ويمكن تلخيص الخطوات التي تم اتباعها كالآتي:

$$(أ) \text{ تم تحديد نصف القطر للدائرة الأساسية } (r) = ١٥٠ \text{ م.}$$

$$(ب) \text{ خط العرض لمدينة الرياض } (L) = ٢٤^\circ \text{ و } ٢٢^\circ$$

$$\text{إذن } \cos L = ٠,٩٠٨٥ \text{ و } \sin L = ٠,٤١٧٩$$

وعلى ضوء ذلك تم حساب نصف القطر لكل الأقواس التي تمثل مسار الشمس (rs) في الشهور المختلفة وُبعد مركزها (ds) من مركز الدائرة الأساسية بواسطة المعادلات التي سبق ذكرها وتم توضيح ملخصها في الجدول رقم (٤, ٣). (ج) وبواسطة المعادلة السابقة تم حساب المسافة (dt) وهي بُعد الخط الذي يقع عليه مراكز الأقواس التي تمثل الزمن من مركز الدائرة الأساسية.

$$\text{خط العرض عند نقطة المشاهدة } ٢٤^\circ \text{ و } ٢٢^\circ$$

$$\tan L = ٠,٤٥٩٩ \text{ و } \cos L = ٠,٩٠٨٥$$

$$\text{إذن } dt = ١٥٠ \times ٠,٤٥٩٩ = ٦٨,٩٩$$

وبواسطة المعادلتين التاليتين تم تحديد نصف القطر (rh) لكل قوس وُبعد مركزه (dh) من القطر الرأسي للدائرة الأساسية وتم رصدها في الجدول رقم (٤, ٣).

$$(٤, ١٧) \quad rh = \frac{r}{\cos L \times \sin(15H)}$$

$$(٤, ١٨) \quad dh = \frac{r}{\cos L \times \tan(15H)}$$

حيث

$$rh = \text{نصف قطر القوس الذي يمثل مسار الشمس لتاريخ معين.}$$

$$r = \text{نصف قطر الدائرة الأساسية.}$$

$$dh = \text{بُعد مركز القوس من مركز الدائرة.}$$

L = خط العرض عند نقطة المشاهدة.

H = عدد الساعات.

أما البيانات الأساسية والتي تم بموجبها تحديد نصف القطر (rh) فقد تمّ رصدها في الجدول رقم (٤، ٤). أما بالنسبة للدوائر التي تمثل الزوايا العمودية فقد تم حساب نصف قطرها r_B كالآتي :

$$r_B = r \frac{r \times \cos \beta}{1 + \sin \beta} \quad (٤، ١٩)$$

جدول رقم (٤، ٣). نصف القطر ويُعد مركز الأقواس.

التاريخ (L)	الميل الزاوي	Cos L	Sin L	(rs) cm	(ds) cm
٢٢ يونية	٢٣,٤٥°	٠,٩١٧٤	٠,٣٩٧٩	١٦٩,٠	١٦٧,٠
١٥ مايو و ٣٠ يولية	١٨,٧٠°	٠,٩٤٧٢	٠,٣٢٠٦	١٩٢,٤	١٨٤,٥
١٥ أبريل و ٣٠ أغسطس	٩,٣٨°	٠,٩٨٦٦	٠,١٦٣٠	٢٥٤,٨	٢٣٤,٦
٢١ مارس و ٢٣ سبتمبر	صفر	١,٠٠٠٠	صفر	٣٥٨,٩	٣٢٦,١
١٥ أكتوبر و ٢٨ فبراير	-٨,٢٣°	٠,٩٨٩٧	-٠,١٤٣١	٥٤٠,٢	٤٩٥,٩
١٥ نوفمبر و ٢٨ يناير	-١٨,٣٣°	٠,٩٤٩٢	-٠,٣١٤٥	١٣٧٧,٠	١٣١٨,٠
٢٢ ديسمبر	-٢٣,٤٥°	٠,٩١٧٤	-٠,٣٩٧٩	٦٨٨١,٠	٦٨١٤,٠

L = ميل زاوية الشمس.

rs = نصف قطر القوس الذي يمثل مسار الشمس.

ds = مسافة مركز القوس من مركز الدائرة الأساسية.

جدول رقم (٤، ٤). بيانات الأقواس التي تمثل الزمن

الزمن	س	Sin (س × ١٥)	tan (س × ١٥)	(rh)	(dh)
الساعة ٦ صباحا	٦	١,٠٠٠٠	∞	١٦٥,١	صفر
الساعة ٧ صباحا	٥	٠,٩٦٦	٣,٧٣٢	١٧٠,٩	٤٤,٢
الساعة ٨ صباحا	٤	٠,٨٦٦	١,٧٣٢	١٩٠,٦	٩٥,٣

تابع جدول رقم (٤، ٤).

الزمن	ص	Sin (س × ١٥)	tan (س × ١٥)	(rh)	(dh)
الساعة ٩ صباحا	٣	٠,٧٠٧	١,٠٠٠	٢٣٣,٦	١٦٥,١
الساعة ١٠ صباحا	٢	٠,٥٠٠	٠,٥٧٧	٣٣٠,٤	٢٨٦,٣
الساعة ١١ صباحا	١	٠,٢٥٩	٠,٢٦٨	٦٣٧,٥	٦١٦,١
الساعة ١٢ ظهرا	صفر	صفر	صفر	∞	∞
الساعة ١٣ بعد الظهر	١	٠,٢٥٩	٠,٢٦٨	٦٣٧,٥	٦١٦,١
الساعة ١٤ بعد العصر	٢	٠,٥٠٠	٠,٥٧٧	٣٣٠,٤	٢٨٦,٣
الساعة ١٥ عصرا	٣	٠,٧٠٧	١,٠٠٠	٢٣٣,٦	١٦٥,١
الساعة ١٦ بعد العصر	٤	٠,٨٦٦	١,٧٣٢	١٩٠,٦	٩٥,٣
الساعة ١٧ مساء	٥	٠,٩٦٦	٣,٧٣٢	١٧٠,٩	٤٤,٢
الساعة ١٨ مساء	٦	١,٠٠٠	∞	١٦٥,١	صفر

جدول رقم (٤، ٥). بيانات للدوائر التي تمثل الزوايا العمودية.

زاوية ارتفاع الشمس (β)	Cos β	Sin β	1 + Sin β	نصف قطر الدائرة I _β (مم)
صفر	١,٠٠٠	صفر	١,٠٠٠	١٥٠,٥
١٠°	٠,٩٨٥	٠,١٧٠	١,١٧٠	١٢٦,٣
٢٠°	٠,٩٤٠	٠,٣٤٢	١,٣٤٢	١٠٥,٠
٣٠°	٠,٨٦٦	٠,٥٠٠	١,٥٠٠	٨٦,٦
٤٠°	٠,٧٦٦	٠,٦٤٣	١,٦٤٣	٦٩,٩
٥٠°	٠,٦٤٣	٠,٧٦٦	١,٧٦٦	٥٤,٦
٦٠°	٠,٥٠٠	٠,٨٦٦	١,٨٦٦	٤٠,٢
٧٠°	٠,٣٤٢	٠,٩٣٩	١,٩٣٩	٢٦,٥
٨٠°	٠,١٧٠	٠,٩٨٥	١,٩٨٥	١٢,٨
٩٠°	صفر	١,٠٠٠	٢,٠٠٠	صفر

β = زاوية ارتفاع الشمس ، I_β = نصف قطر الدوائر التي تمثل الزوايا العمودية.

لأشك أن المعدلات الخاصة بأقطار الأقواس التي تمثل مسار الشمس في الشهور المختلفة لمدينة الرياض تُعتبر كبيرة جدا ويصعب رسمها بواسطة الفرجار العادي. ولذلك كان لا بد من اللجوء إلى استعمال جهاز الحاسب الآلي الذي وفر الدقة والسرعة المطلوبة لرسم بياني مسار الشمس ومنقلة الظلال. وباستعمال منقلة الظلال وبياني مسار الشمس يمكن تحديد زوايا الظل الأفقية (α_{sh}) والعمودية (β_{sh}) للفتحات المختلفة والتي تساعد على تصميم كاسرات الشمس الملائمة. يوضح الشكل رقم (١٦، ٤) البياني الخاص الذي يحتوي علي الخطوط الكتورية لدرجات الحرارة المتساوية لمدينة الرياض. على هذه المصنوفة تم تحديد الفترات الحارة التي تستوجب حجب أشعة الشمس ومنعها من النفاذ إلى الفراغات الداخلية. هذه الفترات الحارة تنحصر بين الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية (٥، ٢٢ م فعالة مصححة)، والخطوط التي تمثل شروق الشمس وغروبها (سعيد، ١٩٩١ و Koenigsberger, 1973).

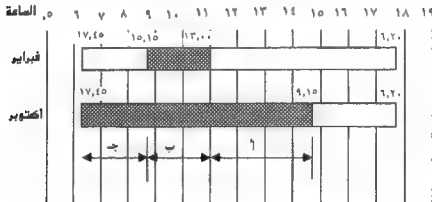
ويتضح لنا من دراسة البياني أن الفترات التي تستوجب حجب أشعة الشمس هي كالآتي:

- ١ - ٢٨ يناير من الساعة ١٤،٠٠ إلى الساعة ١٥،٠٠ بعد الظهر.
- ٢ - ٢٨ فبراير من الساعة ١٢،٠٠ إلى الساعة ١٥،١٥ بعد الظهر.
- ٣ - ٢١ مارس من الساعة ١٠،٣٠ صباحا إلى الساعة ١٧،٣٠ مساء.
- ٤ - ١٥ أبريل من الساعة ٩،٣٠ صباحا إلى غروب الشمس.
- ٥ - ١٥ مايو من الساعة ٨،٢٠ صباحا إلى غروب الشمس.
- ٦ - ٢٢ يونيو من شروق الشمس إلى غروب الشمس.
- ٧ - ٣٠ يوليو من شروق الشمس إلى غروب الشمس.
- ٨ - ٣٠ أغسطس من شروق الشمس إلى غروب الشمس.
- ٩ - ٢٣ سبتمبر من الساعة ٨،٠٠ صباحا إلى غروب الشمس.
- ١٠ - ١٥ أكتوبر من الساعة ٩،١٥ صباحا إلى غروب الشمس.
- ١١ - ١٥ نوفمبر من الساعة ١١،٠٠ صباحا إلى غروب الشمس.
- ١٢ - ٢٢ ديسمبر من الساعة ١٢،٣٠ ظهرا إلى الساعة ١٥،٣٠ بعد العصر.

وتمّ بعد ذلك نقل هذه البيانات إلى بياني مسار الشمس والذي يمثل بياني

آخر معتمد أيضا على ساعات اليوم وشهور السنة، ولكن الاختلاف الوحيد بينهما هو أن إحدائيات هذا البياني عبارة عن منحنيات وليست خطوطا مستقيمة. وبما أن معظم خطوط مسارات الشمس تمثل يومين لشهرين مختلفين أثناء السنة فإن تحويل المعلومات التي توافرت من البياني الأول في الشكل رقم (١٦، ٤) إلى البياني الثاني والذي يمثل مسار الشمس في الشكل رقم (١٨، ٤) سوف يعطى خطين مختلفين، الخط الأول (أ) والذي يمثل الفترة الحارة من يونية إلى نوفمبر، والخط الثاني (ب) والذي يمثل الفترة الباردة من ديسمبر إلى مايو. وبما أن هناك اختلافا في درجات الحرارة خلال هاتين الفترتين، فإن الخطين اللذين يمثلانهما لا يتطابقان، وبالتالي يعكسان اختلافا واضحا وتباينا كبيرا في متطلبات التظليل. في ١٥ أكتوبر يكون التظليل ضروريا للفترة من الساعة ٩، ١٥ صباحا إلى غروب الشمس. أما في ٢٨ فبراير، عندما تأخذ حركة الشمس نفس المسار يكون التظليل ضروريا للفترة من الساعة ١٣، ٠٠ بعد الظهر إلى الساعة ١٥، ١٥ عصرا. وبذلك يكون هناك تضارب في متطلبات التظليل خلال فترتين، الفترة الأولى من الساعة ٩، ١٥ صباحا إلى الساعة ١٣، ٠٠ بعد الظهر والفترة الثانية من الساعة ١٥، ١٥ عصرا إلى غروب الشمس (الشكل رقم ٢٠، ٤). يمكن في هذه الحالة توفير التظليل المطلوب بواسطة استعمال كاسرات الشمس المتحركة. أما عندما تُستعمل كاسرات الشمس الثابتة فيجب على المهندس المعماري عمل الدراسات والتحليلات اللازمة من أجل الوصول إلى الحل الأمثل. يجب تحديد أي البديلين أخف ضررا بالنسبة للراحة الحرارية للإنسان، هل هو البديل الأول والذي يتمثل في السماح لأشعة الشمس بالنفاذ إلى داخل الفراغ خلال الفترة من الساعة ٩، ١٥ صباحا إلى الساعة ١٣، ٠٠ بعد الظهر ومن الساعة ١٥، ١٥ عصرا إلى غروب الشمس خلال شهر أكتوبر على الرغم من أنه غير مرغوب فيها، أم بحجب أشعة الشمس خلال الفترة نفسها من شهر فبراير على الرغم من أنه مرغوب فيها من أجل التدفئة. يتضح لنا من البيانات المناخية لمدينة الرياض أن درجات الحرارة خلال شهر أكتوبر للفترة الأولى من الساعة ٩، ١٥ صباحا إلى الساعة ١٣، ٠٠ بعد الظهر تتراوح من ٢٦، ٠ م إلى ٣٧، ٠ م، وللفترة الثانية من الساعة ١٥، ١٥ عصرا إلى غروب الشمس تتراوح من ٣٠، ٠ م إلى ٣٧، ٠ م. وبالمقابل فإن درجات الحرارة خلال شهر فبراير للفترة

الأولى من الساعة ٩,١٥ صباحاً إلى الساعة ١٣,٠٠ بعد الظهر تتراوح من ١١,٠ م إلى ٢٦,٥ م وخلال الفترة الثانية من الساعة ١٥,١٥ عصراً إلى غروب الشمس تتراوح درجات الحرارة من ٥,٥ م إلى ٢٨,٠ م. من هذا التحليل المختصر يتضح لنا الارتفاع الواضح في درجات الحرارة خلال شهر أكتوبر فوق مستوى الحد الأعلى لمتطلبات الراحة الحرارية. عليه يُستحسن تصميم كاسرات الشمس لتوفير التظليل الكامل للنوافذ خلال هذه الفترة، وذلك لأن مفعول نفاذ أشعة الشمس إلى الداخل خلال شهر أكتوبر سوف يكون أكثر ضرراً بالنسبة لمتطلبات الراحة الحرارية للإنسان مقارنة بحجب أشعة الشمس خلال شهر فبراير. إن بياني مسار الشمس والموضح عليه الفترة الحارة (الشكل رقم ٤, ١٨) يُعتبر الأداة الفعالة والمثالية لتحديد بدائل التظليل. بواسطة البياني المذكور أعلاه ومنقلة الظلال يمكن وضع العديد من البدائل المتاحة للتظليل وذلك بتحديد زوايا الظلال الأفقية والعمودية ويمكن ذكر بدائل التظليل التالية على سبيل المثال لا الحصر:



الفترة التي تتطلب حماية المبنى من أشعة الشمس

١ هـ : الفترات التي تتطلب التظليل خلال شهر أكتوبر
والتدفئة بواسطة دخول أشعة الشمس خلال شهر فبراير

شكل رقم (٤, ٢٠). التباين في متطلبات التظليل.

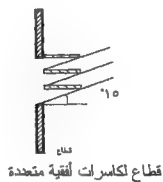
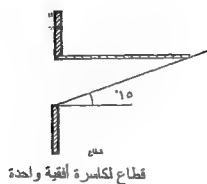
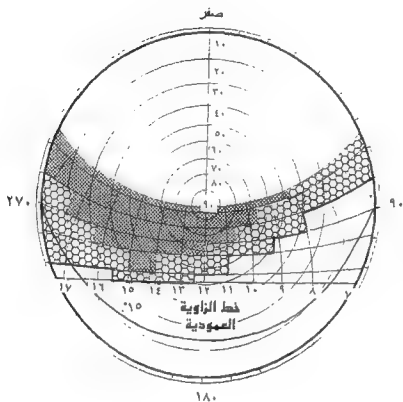
(١) البديل الأول يتمثل في استعمال كاسرة أفقية فقط وتكون زاوية الظل العمودية لها = ١٥,٠. و كما هو واضح في الشكل رقم (٤, ٢١)، بواسطة هذه

الكاسرة يمكننا حماية النافذة حماية كاملة من أشعة الشمس خلال الفترة الحارة. هذه الكاسرة الأفقية سوف تحجب الشمس أيضا في فترات باردة لا يكون التظليل فيها مطلوبا، بل قد تكون أشعة الشمس المباشرة مرغوبة فيها من أجل التدفئة. هذه الفترات الباردة يمكن تلخيصها في الآتي:

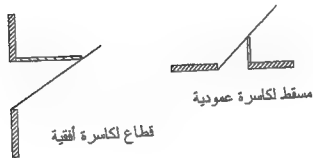
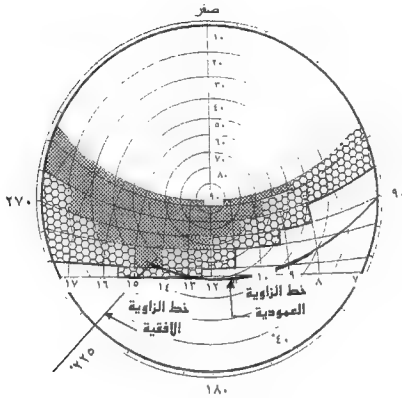
- ١ - يناير من الساعة ٧,٢٠ إلى الساعة ١١,٠٠ صباحا.
- ٢ - فبراير من الساعة ٦,٣٠ إلى الساعة ٩,١٥ صباحا.
- ٣ - مارس من شروق الشمس إلى الساعة ٨,٠٠ صباحا.
- ٤ - سبتمبر من شروق الشمس إلى الساعة ٩,٣٠ صباحا.
- ٥ - أكتوبر من الساعة ٦,٣٠ إلى الساعة ١٠,٣٠ صباحا.
- ٦ - نوفمبر من الساعة ٧,٢٠ إلى الساعة ١٣,٠٠ بعد الظهر.
- ٧ - ديسمبر من الساعة ٧,٣٠ صباحا إلى الساعة ١٢,٣٠ ظهرا، ومن الساعة ١٥,٣٠ إلى الساعة ١٦,٤٥ مساء.

(ب) أما البديل الثاني فهو يتمثل في استخدام الكاسرات المزدوجة، الأفقية والعمودية. بالنسبة لهذا البديل تكون زاوية الظل العمودية = 40° وزاوية الظل الأفقية = 45° . كما هو واضح في الشكل رقم (٤,٢٢)، وباستعمال الكاسرات المزدوجة يمكننا حماية النافذة حماية كاملة من أشعة الشمس خلال الفترة الحارة. إن الأداء المشترك للكاسرتين سوف يؤدي كذلك إلى منع أشعة الشمس من النفاذ إلى داخل المبنى في الأوقات الباردة والتي قد تكون أشعة الشمس مرغوبة فيها والتي يمكن تلخيصها في الآتي:

- ١ - يناير من الساعة ٩,١٥ إلى الساعة ١١,٠٠ صباحا.
- ٢ - فبراير من الساعة ٧,٢٠ إلى الساعة ٩,٣٠ صباحا.
- ٣ - مارس من شروق الشمس إلى الساعة ٨,٠٠ صباحا.
- ٤ - سبتمبر من شروق الشمس إلى الساعة ٩,٣٠ صباحا.
- ٥ - أكتوبر من الساعة ٧,٠٠ صباحا إلى الساعة ١٠,٣٠ صباحا.
- ٦ - نوفمبر من الساعة ٨,٣٠ صباحا إلى الساعة ١٣,٠٠ بعد الظهر.
- ٧ - ديسمبر من الساعة ١٠,٠٠ صباحا إلى الساعة ١٢,٣٠ ظهرا. ومن الساعة ١٥,٣٠ عصرًا إلى غروب الشمس.

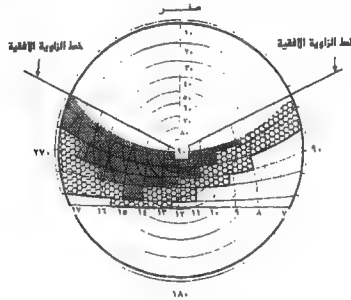


شكل رقم (٢١، ٤). تظليل الفتحات على الواجهة الجنوبية بواسطة الكاسرة الأفقية.



شكل رقم (٢٢، ٤). نظليل الفتحات على الواجهة الجنوبية بواسطة الكاسرات المزدوجة.

أما النافذة التي تقع على الواجهة الشمالية فهي بدون شك تحتاج إلى التظليل الكامل وذلك لأنها تتعرض لأشعة الشمس خلال فترة الصيف الحار والتي تتمثل في شهر مايو من شروق الشمس إلى الساعة ١٠,٣٠ صباحا ومن الساعة ١٥,٠٠ عصرا إلى غروب الشمس، وفي شهر يونيو من شروق الشمس إلى الساعة ٩,٠٠ صباحا ومن الساعة ١٣,٠٠ بعد الظهر إلى غروب الشمس، وفي شهر يوليو من شروق الشمس إلى الساعة ٧,٣٠ صباحا ومن الساعة ١٣,٣٠ بعد الظهر إلى غروب الشمس، وفي شهر أغسطس من الساعة ١٦,٤٥ عصرا إلى غروب الشمس. ويمكن تظليل هذه النافذة بواسطة كاسرات الشمس العمودية فقط، حيث تكون زوايا الظل الأفقية على الجانبين $= ٦٥^\circ$ (الشكل رقم ٤,٢٣).



شكل رقم (٤,٢٣). تظليل الفتحات على الواجهة الشمالية.

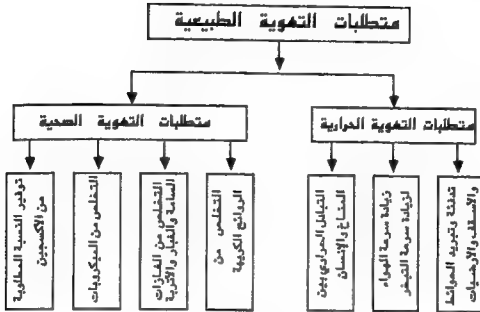
التهوية الطبيعية

- فوائد التهوية الطبيعية ● حركة الهواء ● العناصر التصميمية التي تساعد على التحكم في التهوية الطبيعية ● الملائق الهوائية ● وحدات التهوية الطبيعية

(١, ٥) فوائد التهوية الطبيعية

التهوية الطبيعية للمباني هو المصطلح الذي يُقصد به عملية تغيير الهواء الداخلي بهواء نقي من الخارج بواسطة الوسائل الطبيعية فقط. إن توفير المعدل الأدنى من التهوية الطبيعية داخل المباني يُعتبر من العناصر الضرورية لحياة الإنسان من أجل راحته وصحته وحيويته. فأهمية التهوية الطبيعية تكمن في أثرها الفعال في تخفيف الإجهاد الحراري على الإنسان، وتساعد أيضاً على التخلص من ثاني أكسيد الكربون والروائح الكريهة والشوائب الضارة بالصحة. وتُعتبر التهوية الطبيعية ضرورية من أجل تخفيض درجة حرارة الحوائط والأسقف والأرضيات بالاستفادة من ظاهرة انتقال الحرارة بواسطة تيارات الحمل. ويمكن حصر أهم فوائد التهوية الطبيعية (شكل رقم ١, ٥) في النقاط التالية (Van Straaten, 1967):

- ١ - التهوية الطبيعية من أجل صحة الإنسان.
- ٢ - التهوية الطبيعية من أجل الراحة الحرارية.



شكل رقم (١، ٥). متطلبات التهوية الطبيعية في المباني.

المصدر: Van Straaten (1967), p. 228

(١، ٥، ١) التهوية الطبيعية من أجل صحة الإنسان

إن ضمان الحد الأدنى من نقاء الهواء داخل المباني، والتخلص من الروائح الكريهة والنتنة والشوائب الضارة العالقة به يُعتبر من المتطلبات المهمة لحياة الإنسان وصحته. لا بد من تجديد الهواء داخل الفراغ من فترة إلى أخرى بهواء نقي من الخارج يحتوي على النسبة الضرورية من غاز الأكسجين التي يحتاجها الإنسان من أجل التنفس وطبخ الطعام، وأيضا للتخلص من تراكبات ثاني أكسيد الكربون. يتكون الهواء العادي من ٢١٪ من غاز الأكسجين ومن ٠,٣٪ إلى ٠,٠٤٪ من غاز ثاني أكسيد الكربون و ٧٨٪ من غاز النيتروجين و ١٪ من الغاز الحامل inert gas ومن ٥ إلى ٢٥ جراما من بخار الماء لكل متر مكعب من الهواء. أما الهواء داخل المباني فإن مكوناته وخصائصه تتأثر نتيجة لوجود الأشخاص وأنشطتهم المختلفة فترتفع نسبة ثاني أكسيد الكربون وتزداد كمية بخار الماء نتيجة لعملية التنفس والطبخ والنشاطات الأخرى، وأيضا تنتشر الجراثيم التي تنقل الأمراض بواسطة الزفير والعطس والكحة. وتؤثر الإفرارات العضوية من جسم الإنسان

والتي تعتمد على النواحي الصحية والعادات والتقاليد الغذائية والاجتماعية للإنسان، على رائحة الهواء الداخلي. كما يؤثر التدخين وبصورة فعالة على خصائص الهواء ومكوناته. ويتكون الهواء الذي يخرج من الرئة أثناء عملية الزفير من ١٦,٣٪ من غاز الأكسجين و ٤٪ من غاز ثاني أكسيد الكربون و ٧٩,٧٪ من غاز النيتروجين والغازات الأخرى و ٤٥ جراما من بخار الماء لكل متر مكعب. إن متطلبات الإنسان من الأكسجين تعتمد على مستوى التفاعل الحيوي. عموما بالنسبة للمباني العادية، كالمباني السكنية والتجارية والترفيهية والتعليمية، فإن التغيرات التي تحدث في نسبة غاز الأكسجين وغاز ثاني أكسيد الكربون ليس لها أثر كبير على صحة الإنسان.

بعد إجراء العديد من البحوث والدراسات ثبت أن الآثار الضارة لصحة الإنسان لا تحدث إلا بعد انخفاض نسبة الأكسجين إلى أقل من ١٦-١٨٪ وارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون إلى أكثر من ١-٢٪ (Winslow, 1926). ولذلك فإن نسبة الأكسجين ونسبة ثاني أكسيد الكربون في الهواء الداخلي لاتصلح لأن تكون المعيار الأساسي لتحديد الحد الأدنى لمعدل التهوية الطبيعية الضروري داخل المباني. إن جودة الهواء تعتمد على عدة عوامل منها نسبة ثاني أكسيد الكربون والذي يُعتبر من أسهلها تحديدا. وبالتالي يمكن تحديد مقدار كمية الروائح الكريهة بالتقريب بناء على نسبة ثاني أكسيد الكربون الموجودة في الهواء. وقد تم وضع الحد الأعلى المسموح به لنسبة ثاني أكسيد الكربون في بعض الدول الأوروبية والولايات المتحدة الأمريكية لضمان الحد الأدنى من متطلبات التهوية الصحية. أما بالنسبة للمنشآت الصناعية، فقد حددت السلطات الفرنسية الحد الأعلى من ثاني أكسيد الكربون بـ ١,٠٪، وفي الولايات المتحدة الأمريكية حُدِّدت هذه النسبة بـ ٥٪. ويجب التأكيد هنا على أنه لا توجد علاقة مباشرة بين نسبة ثاني أكسيد الكربون والعناصر الأخرى التي تؤثر على خصائص ومكونات الهواء والتي تعتمد على النواحي الصحية والعادات والتقاليد الاجتماعية للأشخاص المستعملين للمبنى، وهذا بدوره يعكس لنا التباين الواضح والكبير في الحد الأعلى لنسبة ثاني أكسيد الكربون والتي يُسَمَحُ بها في البلدان المختلفة.

إن الروائح الكريهة تنشأ وتتكون نتيجة للتفاعل الحيوي لجسم الإنسان والروائح الناتجة من عملية الطبخ والتدخين... إلخ. إن مستعملي الفراغ الداخلي

قد لا يلاحظون التغيير التدريجي في ارتفاع معدل الروائح الكريهة في الهواء المحيط بهم، والتي قد يلاحظها الزائر بمجرد دخوله للمبنى. وبعد مرور فترة من الزمن يتأقلم الزائر على وجود الروائح الكريهة شريطة أن تكون في حدود المعدل المعقول والذي اعتاد عليه الشخص. إن زمن التأقلم على المستوى المعقول من الروائح الكريهة يُقدر بحوالي عشر دقائق. وهذا يعني أنه من الصعوبة بمكان وضع معيار علمي دقيق لقياس معدلات ومستويات الروائح الكريهة ووضع أسس لتحديد المعدلات العليا التي قد يتحملها الشخص (Fisk, 1981). لقد أثبتت الدراسات والتجارب العملية والميدانية أن التخلص من الروائح الكريهة داخل المباني يحتاج إلى معدلات أعلى من التهوية الطبيعية مقارنة بالمعدلات التي توفر النسبة الضرورية من غاز الأكسجين والتي تساعد على التخلص من التراكمت العالية من غاز ثاني أكسيد الكربون. ولقد وضعت بعض الدول قوانين ولوائح تحدد معدلات التهوية الطبيعية المطلوبة للتخلص من الروائح الكريهة. وقد اعتمدت هذه اللوائح على معيارين أساسيين، الأول يركز على معدل تغيير الهواء الداخلي للفراغ كله لكل ساعة، والثاني يركز على معدل تغيير الهواء لكل متر مكعب في الساعة كما هو مبين في الجدول رقم (١، ٥).

الجدول رقم (١، ٥). الحد الأدنى من معدلات التهوية الطبيعية للفراغات الداخلية.

القطر	معدل التهوية الطبيعية للفراغ				معدل تغيير الهواء الداخلي			
	عدد مرات تغيير الهواء لكامل الفراغ/ ساعة				متر مكعب / ساعة			
	صالة للمعيشة	المطبخ	الحمام	دورة المياه	صالة المعيشة	المطبخ	الحمام	دورة المياه
بلجيكا	١	-	-	-	-	-	-	-
المجر	١	٣	-	٥	-	-	٢٥	-
بولندا	١-٣	-	-	-	-	-	-	-
السويد	-	-	-	-	٤٥	-	-	-
روسيا	-	-	-	-	٤٥	٩٠-٦٠	٢٥	٢٥
فرنسا	١-٥	٣-٤	٣	٢	-	-	-	-

(٢، ١، ٥) التهوية الطبيعية من أجل الراحة الحرارية

يتبادل الإنسان الحرارة مع المحيط الخارجي بواسطة تيارات الحمل والإشعاع، ويتم فقدان الحرارة نتيجة لتبخير العرق من على سطح الجسم. وللتهوية الطبيعية دورها المهم في عملية الاتزان الحراري للإنسان، وذلك لأنها تؤثر على سرعة ودرجة حرارة الهواء الداخلي، وتؤثر أيضا على درجة حرارة الأسطح للفراغات الداخلية كالحوائط والأسقف والأرضيات. في المناطق ذات المناخ البارد والتي تتميز بدرجة حرارة منخفضة تكون التهوية الطبيعية غير مرغوبة لأن دخول الهواء البارد من الخارج سوف يؤدي إلى خفض درجة حرارة الهواء الداخلي، وهذا يعني استهلاك المزيد من الطاقة من أجل التدفئة. وبالتالي يكون الهدف الرئيسي من التهوية الطبيعية في هذه المناطق هو التخلص من الروائح الكريهة وتوفير النسبة الضرورية من الأكسجين والتخلص من تراكمات ثاني أكسيد الكربون. أما في المناطق ذات المناخ الحار، أو تلك التي يكون صيفها حارا، فإن متطلبات التهوية الطبيعية ترضخ إلى معايير مختلفة تماما. تركز المعايير المهمة، والتي تحدد متطلبات التهوية الطبيعية في المناطق الحارة، على ضرورة التخلص من الروائح الكريهة بالإضافة إلى الاستفادة من قوة الدفع لتيار الهواء الخارجي في زيادة سرعة الهواء المناسب عبر الفراغ الداخلي. إن زيادة سرعة الهواء في الفراغات الداخلية تؤدي إلى زيادة معدل تبخر العرق من على سطح جسم الإنسان، وتساعد أيضا على التخلص من الرطوبة العالية خاصة في المناطق ذات المناخ الحار الرطب. ولذلك تُعتبر سرعة الهواء أهم بكثير من معدل تغيير الهواء في هذه المناطق. في المناطق التي تتميز بالمناخ الحار الرطب يجب ألا تقل سرعة الهواء عن ٢ متر/ثانية، أما في الأقاليم التي تتميز بالمناخ الحار الجاف فيجب ألا تقل سرعة الهواء عن ١ متر/ثانية (Givoni, 1981). تُعتبر حركة الهواء مهمة جدا بالنسبة للراحة الحرارية للإنسان، فهي أحد العناصر التي تُحدد معدل التبادل الحراري بين جسم الإنسان والمناخ المحيط به، وكذلك معدل تبخر العرق من على سطح الجسم. وهناك علاقة وثيقة بين التهوية الطبيعية من أجل الراحة الحرارية وبين درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية داخل المبنى. وعندما تكون السرعة العالية للهواء من متطلبات الراحة الحرارية، فإن ذلك قد يعني عدم التجانس في توزيع حركة الهواء ووجود تباين كبير في سرعة الهواء في الأماكن المختلفة من الفراغ

الداخلي . ولكل هذه الأسباب يكون من الأفضل استعمال سرعة الهواء كمعيار أساسي للتهوية الطبيعية بدلا من استعمال معدل تغيير الهواء لكل الفراغ ، أو معدل تغيير الهواء لكل متر مكعب في الساعة . لاشك أن سرعة الهواء تتأثر بالشكل الهندسي ، والتوزيع الداخلي للفراغ ، ومواقع الفتحات وتصميمها وتوجيهها بالنسبة لاتجاه تيار الهواء الخارجي .

إن معدل التبادل الحراري بين الإنسان والمناخ المحيط به يعتمد على عدة عناصر والتي من بينها الفرق بين درجة حرارة الإنسان ودرجة حرارة الهواء . عندما تكون درجة حرارة الإنسان أعلى من درجة حرارة الهواء يفقد الإنسان الحرارة إلى الهواء ، وعندما ترتفع درجة حرارة الهواء تكون هنالك ضرورة لزيادة سرعته وذلك من أجل المحافظة على معدل فقدان الحرارة نفسه . وهذه العلاقة تستمر إلى أن تساوى درجة حرارة الهواء مع درجة حرارة الإنسان . أما عندما ترتفع درجة حرارة الهواء إلى معدلات أعلى من درجة حرارة الإنسان فإن الزيادة في سرعة الهواء تؤدي إلى اكتساب المزيد من الحرارة نتيجة لتيارات الحمل ، ولكن المفعول الكلي للتبادل الحراري بين الإنسان والمناخ المحيط به يعتمد على العناصر الأخرى التي تتمثل في الرطوبة النسبية ومعامل العزل الحراري للملابس ، ونوعية النشاط الذي يقوم به الإنسان . عندما يكون الإنسان داخل المبنى فإنه يتبادل الحرارة بواسطة الإشعاع مع الأسطح الداخلية للفراغ كالجدران والأسقف والأرضيات . ويعتمد معدل التبادل الحراري على الفرق بين درجة حرارة الإنسان ومتوسط درجة الحرارة الإشعاعية للأسطح الداخلية .

كذلك يتم تبادل حراري بين الأسطح الداخلية والهواء ، وبالتالي يكون للهواء أثره في تحديد معدلات درجة حرارة الأسطح الداخلية . في حالة عدم وجود تهوية طبيعية للفراغ الداخلي ، فإن درجة حرارة الهواء الداخلي تتأثر بدرجة حرارة الأسطح الداخلية . أما عندما تتوافر التهوية الطبيعية فإن الهواء الخارجي يختلط بالهواء الداخلي ويمتزج معه . بينما يتم التبادل الحراري بين الأسطح الداخلية والهواء الداخلي ببطء ، فإن الهواء الخارجي يتفاعل مع الهواء الداخلي بسرعة وفي فترة وجيزة . إن كمية الحرارة التي يفقدها أو يكتسبها الهواء الداخلي نتيجة للتهوية الطبيعية ، هي حاصل ضرب معدل التهوية الطبيعية والحرارة النوعية لحجم الهواء والفرق بين درجة حرارة الهواء الخارجي ودرجة حرارة

الهواء الداخلي. ويمكن تحديد كمية الحرارة التي يفقدها أو يكتسبها الهواء الداخلي نتيجة للتهوية الطبيعية بواسطة المعادلة التالية (Koenigsberger, 1973):

$$Q_v = C_v \times V \times \delta T$$

$$Q_v = 1300 \times V \times \delta T$$

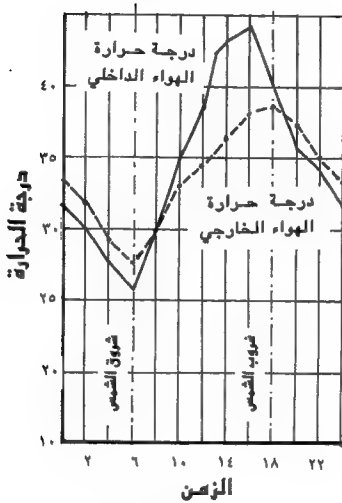
حيث

Q = كمية الحرارة التي يكتسبها أو يفقدها الهواء الداخلي (واط).
 C_v = الحرارة النوعية الحجمية للهواء = 1300 جول/ متر مكعب - درجة مئوية.
 δ = الفرق في درجات الحرارة (درجة مئوية).
 V = معدل التهوية الطبيعية (متر مكعب/ ساعة).

وتجدر الإشارة هنا إلى أن المعادلات السابقة تتعلق بدرجة حرارة الهواء الداخلي والتي قد تختلف اختلافا كبيرا عن درجة حرارة الأسطح الداخلية للمحاطات والأسقف والأرضيات التي تُحدد الفراغ الداخلي. وقد تم إجراء العديد من التجارب العملية لدراسة مفعول التهوية الطبيعية على درجة حرارة الأسطح الداخلية ودرجة حرارة الهواء الداخلي. وفي بعض النماذج لهذه التجارب تم استعمال أنواع مختلفة من مواد البناء وكذلك الألوان المختلفة للأسطح الخارجية وثلاثة معدلات من التهوية الطبيعية وهي كالآتي (Mukhtar, 1981):

- (أ) عدم وجود تهوية طبيعية.
- (ب) تهوية طبيعية ٢٤ ساعة ليلا ونهارا.
- (ج) تهوية طبيعية لفترة ١٢ ساعة ليلا.

ومن الملاحظات العامة لنتائج هذه التجارب أنه في حالة استعمال اللون الرمادي للسطح الخارجي للمحاط الغربي فإن انحراف درجة حرارة الهواء الداخلي ودرجة حرارة السطح الداخلي يكون أعلى مقارنة باستعمال اللون الأبيض. وأثبتت نتائج التجارب أن المفعول الكلي للتهوية الطبيعية على درجة حرارة الأسطح الداخلية يتأثر أيضا بالخصائص الحرارية والفيزيائية للمواد المستعملة وسمك هذه المواد. وقد أثبتت التجارب الميدانية أن التهوية الطبيعية أثناء الليل فقط لها مفعول كبير على درجة حرارة الأسطح الداخلية والهواء الداخلي كما هو واضح في الشكل رقم (٥، ٢).



شكل رقم (٥, ٢). التهوية الطبيعية أثناء الليل.

(٥, ٢) حركة الهواء

إن الطاقة التي تسبب في حركة الهواء عبر المبنى تُعرف بالطاقة الحركية kinetic energy للرياح وهي تعادل $\left(\frac{1}{2} \sigma V^2\right)$ في حين أن σ ترمز إلى كثافة الهواء و (V) ترمز إلى سرعة الهواء (Givoni, 1968). إن تداخل الهواء وحركته داخل المبنى يتم نتيجة للتدرج في الضغط الجوي pressure gradient عبر

الفراغ الداخلي والذي يتكون نتيجة لعاملين أساسيين هما قوة الدفع الحراري thermal force الناتجة من التدرج في درجات الحرارة temperature gradient بين الهواء الداخلي والهواء الخارجي، وقوة الدفع الهوائي wind force الناتج عن تيارات الهواء الخارجي.

(١, ٢, ٥) حركة الهواء داخل المبنى نتيجة لقوة الدفع الحراري

عندما يوجد اختلاف أو تباين في درجة حرارة الهواء الداخلي ودرجة حرارة الهواء الخارجي يؤدي ذلك إلى التباين في كثافة الهواء وبالتالي إلى الاختلاف في الضغط الجوي. عند وجود نافذة واحدة في مستوى معين من المبنى فإن ضغط الهواء على جانبي النافذة وبمرور الوقت يصل إلى مرحلة التوازن وعندما يتوقف تدفق الهواء عبر النافذة على الرغم من وجود التباين في درجة حرارة الهواء الداخلي والخارجي. إذا كانت درجة حرارة الهواء الداخلي أعلى من درجة حرارة الهواء الخارجي فإن كثافة الهواء الداخلي تكون أقل من كثافة الهواء الخارجي وبالتالي يكون تدرج الضغط الراسي للهواء الداخلي أقل من تدرج الضغط الراسي للهواء الخارجي. ينشأ ضغط هوائي عال في الفراغ الداخلي الذي يقع فوق مستوى النافذة بينما ينشأ ضغط هوائي منخفض في الفراغ الذي يقع تحت مستوى النافذة نتيجة لتحرك الهواء من أسفل إلى أعلى. إن معدلات الضغط الهوائي تزداد مع زيادة المسافة الرأسية من مستوى النافذة. في هذه الحالة فإن الهواء الداخلي لا ينفذ إلى خارج المبنى لعدم وجود فتحة عند مستوى الضغط الهوائي العالي. أما في حالة وجود نافذتين على ارتفاعين مختلفين وفي واجهة واحدة من المبنى، وعندما تكون درجة حرارة الهواء الداخلي أعلى من درجة حرارة الهواء الخارجي، فإن الضغط الهوائي العالي يتكون في المناطق العالية بالقرب من النافذة العليا مما يؤدي إلى خروج الهواء عبر هذه النافذة وبالتالي ينشأ انخفاض في معدلات الضغط الهوائي في المناطق المنخفضة أي بالقرب من النافذة السفلى مما يؤدي إلى دخول الهواء من الخارج عبر هذه النافذة، وتستمر حركة الهواء على هذا المتوال كما هو واضح في الشكل رقم (٥, ٣). أما عندما تكون درجة حرارة الهواء الداخلي أقل من درجة حرارة الهواء الخارجي فإن حركة الهواء تأخذ مساراً معاكساً للمثال السابق. وفي هذه الحالة يكون الضغط المنخفض في

الفراغ الذي يقع فوق مستوى النافذة ويكون الضغط العالي في الفراغ الذي يقع تحت مستوى النافذة. وبما أن درجة حرارة الهواء الخارجي أعلى من درجة حرارة الهواء الداخلي، يرتفع الهواء الحار في الخارج إلى أعلى فيؤدي ذلك إلى انخفاض في الضغط الهوائي الخارجي في المستويات المنخفضة المواجهة للنافذة السفلى والتي تقع في منطقة الضغط الهوائي العالي، ونتيجة لذلك يخرج الهواء عبر النافذة السفلى ويؤدي ذلك إلى انخفاض الضغط الهوائي في المستويات العالية القريبة من النافذة العليا وبالتالي تحدث عملية سحب للهواء من الخارج عبر هذه النافذة وتستمر حركة الهواء على هذا المنوال كما هو واضح في الشكل رقم (٥,٣). إن الفرق بين الوزن الحجمي الكلي لعمود الهواء الخارجي وعمود الهواء الداخلي يعتمد على المسافة الرأسية (h) بين النافذتين والفرق بين درجة حرارة الهواء الداخلي ودرجة حرارة الهواء الخارجي (ΔT) بالنسبة إلى متوسط درجة الحرارة المطلقة للهواء المحيط والتي يمكن حسابها بواسطة المعادلة التالية:

(٥,٢)

$$K = t_a + 273$$

حيث

K = درجة الحرارة المطلقة للهواء المحيط (درجة كلفن = درجة مئوية + ٢٧٣).

t_a = درجة حرارة الهواء (درجة مئوية).

وبما أن متوسط وزن واحد ستيومتر عمود من الماء يساوي وزن ٨,٥ متر عمود من الهواء بالمساحة نفسها وفي درجة الحرارة العادية وضغط الهواء العادي، فإن الفرق في ضغط الهواء Δp يمكن حسابه بواسطة المعادلة التالية (Givoni, 1981):

(٥,٣)

$$\Delta p = \frac{h \times \Delta t}{8.5 \times K} (\text{cmH}_2\text{O})$$

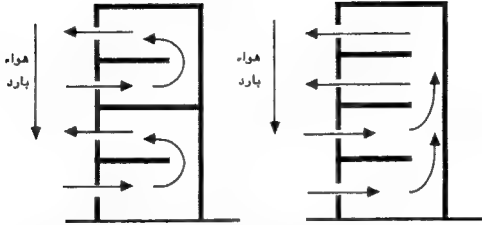
حيث

Δp = الفرق بين ضغط الهواء الخارجي وضغط الهواء الداخلي (مليبار).

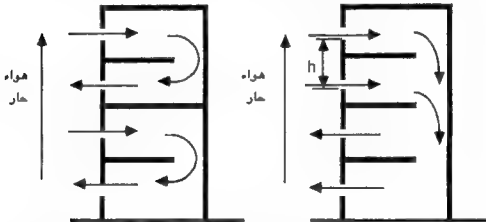
h = المسافة الرأسية بين النافذتين (متر).

Δt = الفرق في درجة الحرارة بين الهواء الخارجي والهواء الداخلي (درجة مئوية).

K = متوسط درجة الحرارة المطلقة (درجة كلفن).



عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي أقل من درجة حرارة الهواء الداخلي ينخفض الهواء إلى أسفل، وفي حالة وجود تدفئة داخلية فإن الهواء الداخلي يرتفع إلى أعلى ويخرج من النوافذ العليا مسببا انخفاضاً في الضغط الهوائي في المستويات السفلى يؤدي إلى دخول الهواء من النوافذ السفلى وخروجه من النوافذ العليا.



عندما تكون درجة حرارة الهواء الداخلي أقل من درجة حرارة الهواء الخارجي يرتفع الهواء الخارجي إلى أعلى ويتسبب في انخفاض الضغط في المستويات السفلى، وفي حالة تبريد الفراغ الداخلي ينخفض الهواء إلى أسفل ويؤدي ذلك إلى خروج الهواء من النوافذ السفلى ودخوله من النوافذ العليا.

شكل رقم (٥،٣). حركة الهواء في حالة وجود نافذتين على الواجهة نفسها.

المصدر: Fisk (1981), p. 121.

وكمثال للكيفية التي يتم بها حساب ضغط الهواء بواسطة المعادلة المذكورة أعلاه، فإذا افترضنا أن متوسط درجة حرارة الهواء الداخلي تساوي ٢٥°م، ومتوسط درجة حرارة الهواء الخارجي تساوي ٣٠°م والمسافة الرأسية (h) من مركز النافذة العليا إلى مركز النافذة السفلى تساوي ٣ أمتار فإنّ الضغط الهوائي يكون كالآتي:

$$\Delta p = \frac{3 (30 - 25)}{8.5 \left(273 + \frac{30 + 25}{2} \right)}$$

$$\Delta p = \frac{3 \times 5}{(8.5 \times 300.5)} = 0.006 (\text{cmH}_2\text{O})$$

إن معدل انسياب الهواء نتيجة لقوة الدفع الحراري يتناسب طردياً مع الجذر التربيعي للفرق بين ضغط الهواء الخارجي وضغط الهواء الداخلي والمساحة الفعلية للنافذة. ويمكن حساب معدل انسياب الهواء (V) عبر النافذة بواسطة المعادلة التالية:

$$V = \phi \times A(h \times \Delta t)^{0.5} \quad (٥, ٤)$$

حيث

V = معدل انسياب الهواء (متر مكعب/ دقيقة / متر مربع) = متر/ دقيقة.

ϕ = معامل مقاومة النافذة لانسياب الهواء وهو يقدر بـ ٩, ٤ وحدة بريطانية أو

٧, ٠ وحدات بالنظام المتري (ASHRAE, 1985).

A = المساحة الفعلية للنافذة (متر مربع).

h = المسافة بين الفتحتين (متر).

Δt = الفرق بين درجة حرارة الهواء الداخلي والخارجي (درجة مئوية).

وبالتالي يمكن كتابة المعادلة السابقة بالنظام المتري كالآتي:

$$V = 7 \times A(h \times \Delta t)^{0.5} \text{ m}^3 / \text{min.} / \text{m}^2 = \text{m} / \text{min.} \quad (\text{متر} / \text{دقيقة})$$

(٥, ٢, ٢) حركة الهواء نتيجة لقوة الدفع من تيار الهواء الخارجي

إن تيارات الهواء تتحرك مندفعة من جهة إلى أخرى فوق سطح الكرة الأرضية، والسبب في تحركها هو وجود مناطق ذات ضغط منخفض تجذب إليها الهواء من مناطق ذات ضغط مرتفع. إن الهواء الموجود في المناطق ذات الضغط

المرتفع يكون أكثر كثافة من الهواء الموجود في المناطق ذات الضغط المنخفض وبالتالي يتحرك الهواء من منطقة الضغط المرتفع إلى منطقة الضغط المنخفض ليملأها حتى يتساوى الضغط في المنطقتين. ولو كان الضغط الجوي متساويا على جميع جهات الكرة الأرضية لما تحرك الهواء ولبقي ساكنا مكانه. ويمكن تشبيه حركة الهواء من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض بانسياب الماء تلقائيا من المرتفعات إلى المنخفضات لكي يحصل التوازن في المستوى. عندما تصبح التهوية الطبيعية ضرورية من أجل التخلص من الرطوبة العالية وللمساعدة في عملية تبخر العرق من على سطح جسم الإنسان فإن معدل التهوية الطبيعية الناتج من قوة الدفع الحراري لا يكون كافيا إذ لابد في هذه الحالة من الاستعانة بحركة مرور الهواء عبر المبنى نتيجة للتيارين في الضغط الجوي المحيط بالخلاف الخارجي للمبنى والذي يُعتبر أكثر فعالية من قوة الدفع الحراري. إن التفاصيل الدقيقة لظاهرة التهوية الطبيعية والتي تعتمد على التباين في الضغط الجوي في غاية التعقيد، ولكن هذا لا يمنع من التطرق لهذه الظاهرة بشكل عام من أجل دراسة تأثيرها ومفعولها على حركة الهواء حول المباني وداخلها. إن وجود الضغط الجوي المرتفع والضغط الجوي المنخفض غالبا ما يكون في أماكن ومواقع مختلفة من غلاف المبنى. عندما تتحرك تيارات الهواء الخارجي في اتجاه المبنى فإنها تنساب وتتوزع ويتغير اتجاهها حول المبنى وفوقه. إن ضغط الهواء في الواجهة التي تقابل اتجاه التيار الهوائي يكون مرتفعا بالمقارنة إلى ضغط الهواء في الواجهة الخلفية للمبنى، حيث يكون ضغط الهواء منخفضا، وتمثل هذه الواجهة منطقة السحب الهوائي، ونتيجة لذلك ينشأ فرق واضح في الضغط الهوائي. عندما يكون اتجاه الرياح بشكل عمودي على المبنى، فإن الواجهة الأمامية تتعرض إلى ضغط هوائي عالي، بينما تتعرض الواجهة الخلفية إلى مفعول السحب الهوائي. في هذه الحالة يكون توزيع الضغط الهوائي على الواجهة الأمامية والسحب الهوائي على الواجهة الخلفية منتظما، إذ يصل الضغط الهوائي إلى أعلى معدلاته في منتصف الواجهة الأمامية ويقل تدريجيا نحو طرفي الواجهة، بينما يكون مفعول السحب الهوائي في أدنى معدلاته في منتصف الواجهة الخلفية ويرتفع تدريجيا نحو طرفي الواجهة. أما إذا كان اتجاه التيار الهوائي مائلا، فإن الواجهتين الأماميتين تتعرضان للضغط الهوائي العالي بينما تتعرض الواجهتان الخلفيتان إلى

مفعول الضغط المنخفض أو السحب الهوائي، كما هو واضح في الشكل رقم (٤، ٥). وفي كلتا الحالتين يكون السقف تحت مفعول الضغط المنخفض. إن الفرق في ضغط الهواء بين أي فتحتين على الغلاف الخارجي يحدد قوة الدفع الهوائي عبر الفراغ الداخلي. يمكن حساب الضغط الديناميكي في درجة الحرارة العادية بواسطة المعادلة التالية:

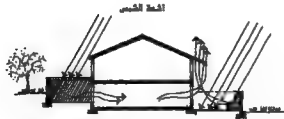
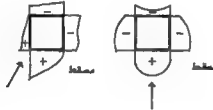
$$P_d = \Delta P / \frac{1}{16} V^2 \quad (٥، ٥)$$

حيث

P_d = الضغط الديناميكي للهواء (مليبار).

ΔP = الفرق بين ضغط الهواء الداخلي وضغط الهواء الخارجي بالمليبار من الماء (مليبار).

V = سرعة الهواء (متر/ثانية).



الفناء المظلل والتبريد بواسطة الماء يساعد في خفض درجة حرارة الهواء في هذا الفناء فيتسرب الهواء إلى داخل المبنى نتيجة لانخفاض الضغط في الفناء المقابل وارتفاع الهواء إلى أعلى.

الهواء الساخن في الفناء المفتوح يرتفع إلى أعلى ويساعد في سحب الهواء البارد من الفناء المظلل.

شكل رقم (٤، ٥). توزيع ضغط الهواء حول المبنى.

لاشك أن تصميم المبنى بشكل عام وتصميم الفتحات بشكل خاص له مفعوله الواضح في حركة الهواء حول المبنى وداخله. إن المصدات والحواجز والقواصل الداخلية للفراغ تؤدي إلى تباين واضح في توزيع الضغط الجوي في الأماكن المختلفة من الفراغ وبالتالي يكون هنالك اختلاف في سرعة واتجاه الهواء. يمكن الحصول على معدلات منخفضة من سرعة الهواء في مواقع الضغط المنخفض داخل الفراغ، بينما يمكن الحصول على معدلات مرتفعة من سرعة الهواء النقي من الخارج في مواقع الضغط العالي، دون اللجوء إلى تغيير جذري في توزيع الهواء وسرعته داخل الفراغ.

(٣, ٥) العناصر التي تساعد على التحكم في التهوية الطبيعية

تعتمد حركة الهواء في الفراغ الداخلي على تصميم المبنى وتوجيهه بالنسبة لاتجاه الرياح وعلى تصميم الفتحات وتوجيهها (صور أرقام ١, ٥, ٢, ٥) وعلى تنسيق الموقع حول المبنى خاصة تخطيط الأشجار وتوزيعها كما هو واضح في الشكل رقم (٥, ٥). كثيراً ما يتعارض توجيه المبنى الملائم بالنسبة لاتجاه الرياح مع التوجيه الذي يلائم حركة الشمس وفي هذه الحالة لابد من عمل التحليلات والدراسات اللازمة من أجل الوصول إلى الحل الأمثل.

أما العناصر التصميمية المؤثرة والفعالة على حركة الهواء داخل المبنى فيمكن تلخيصها في الآتي:

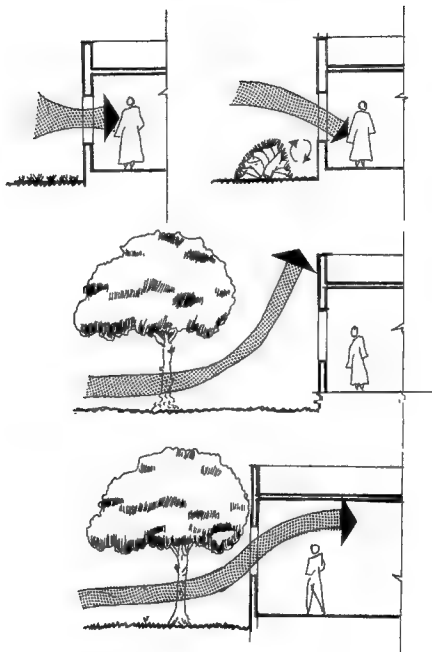
- ١ - توجيه الفتحات وعلاقتها باتجاه تيار الهواء الخارجي.
- ٢ - مساحة الفتحات.
- ٣ - التهوية العرضية.
- ٤ - التهوية العرضية المستحثة.
- ٥ - الموقع الرأسي للفتحات.
- ٦ - طريقة فتح النافذة.
- ٧ - تصميم القواصل الداخلية.
- ٨ - الشبك السلبي المثبت على النافذة للحماية من الحشرات.
- ٩ - التخطيط العام للموقع وعلاقته بالتهوية الطبيعية.



صورة رقم (١, ٥). نماذج مختلفة من الفتحات لمبنى تجاري وسط الرياض.



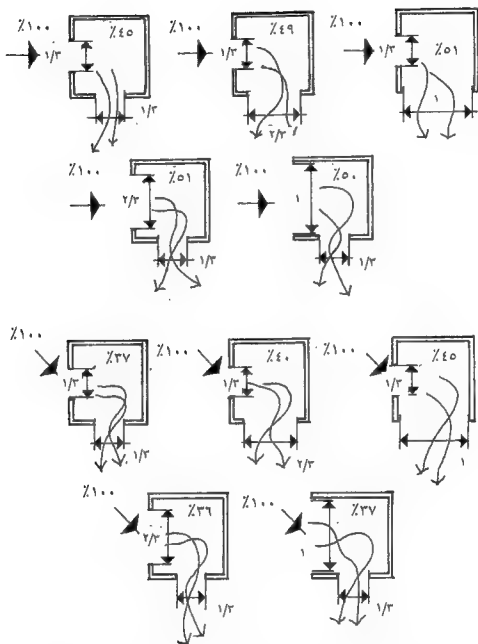
صورة رقم (٢, ٥). نماذج مختلفة من الفتحات لمبنى سكني شمال الرياض.



شكل رقم (٥، ٥). مفعول الأشجار على حركة الهواء وتسريه إلى الداخل.

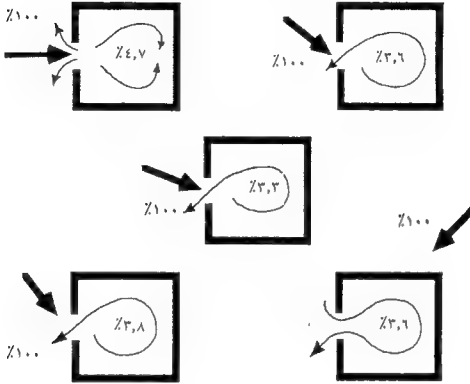
المصدر: Norbert (1991), p. 233

(١، ٣، ٥) توجيه الفتحات وعلاقته باتجاه تيار الهواء الخارجي من أجل الاستفادة القصوى من التهوية الطبيعية يجب أن تكون نافذة دخول الهواء في مواجهة تيار الهواء الخارجي . عندما تكون النوافذ مورعة على الواجهة الأمامية المواجهة لاتجاه الرياح والواجهة الخلفية بعكس اتجاه الرياح، فإن تيار الهواء ينساب عبر الفراغ الداخلي، حيث يدخل الهواء من النوافذ التي تقع في منطقة الضغط العالي ويخرج من النوافذ التي تقع في منطقة الضغط المنخفض والتي تمثل منطقة السحب . إن معدل اندفاع التيار الهوائي عبر الفراغ الداخلي يعتمد ويتأثر بقوة الدفع المشترك لقوة الدفع الحراري وقوة الدفع الخاصة بتيارات الهواء الخارجي . ومن العوامل المهمة التي تحدد مجرى تيارات الهواء داخل المبنى، الاتجاه الفعلي لتيارات الهواء الخارجي وموقع النافذة وتصميمها . عندما يتطابق اتجاه تيار الهواء الخارجي مع الخط الذي يربط بين نافذتي المدخل والمخرج فإن حركة الهواء تستمر في خط مستقيم دون أي تغيير في الاتجاه . أما عندما يكون مخرج الهواء خارج خط السير الأساسي لتيار الهواء الخارجي، يواصل الهواء انسيابه في الاتجاه نفسه حتى يصطدم بحائط أو حاجز أو يفقد قوة الدفع نتيجة لاحتكاكه بالهواء الموجود بالفراغ، وعندها يتغير اتجاه الهواء نحو منطقة الضغط المنخفض التي يحددها موقع نافذة خروج الهواء . أما عندما يكون دخول الهواء بزاوية مائلة فإن مفعول تداخل الهواء داخل الفراغ تقل فعاليته كما هو واضح في الشكل رقم (٦، ٥) . ومن ناحية أخرى فقد أثبت التجارب أنه في حالة وجود نافذة لخروج الهواء في الحائط المجاور لنافذة دخول الهواء فإن معدلات التهوية تكون أفضل (Givoni, 1981) . والشكل رقم (٧، ٥) يبين نتائج بعض التجارب التي أجريت . لدراسة أثر مفعول دخول الهواء على سرعة وتوزيع الهواء داخل الفراغ لحجرة لها نافذة واحدة (Melaragno, 1982).



شكل رقم (٦, ٥). حركة الهواء عندما يكون مخرج الهواء خارج الخط الأساسي للمدخل.

المصدر: Melaragno (1982), p. 337



شكل رقم (٥,٧). مفعول زاوية دخول الهواء على سرعته وتوزيعه داخل حجرة لها نافذة واحدة.

المصدر: Melaragno (1982). p. 322

(٥,٣,٢) مساحة النافذة

لقد تم إجراء العديد من التجارب المعملية لدراسة مفعول تغيير مساحة الفتحات الخاصة بدخول الهواء وخروجه. المجموعة الأولى من هذه التجارب تمت على نموذج له نافذة واحدة مُعرّضة إلى ثلاثة اتجاهات مسن تيار الهواء الخارجي. في المرة الأولى كان اتجاه تيار الهواء الخارجي عمودياً على نافذة دخول الهواء وفي المرة الثانية كان اتجاه تيار الهواء الخارجي بزاوية مائلة وفي المرة الثالثة كان اتجاه تيار الهواء الخارجي عمودياً على الواجهة الخلفية بالنسبة لموقع النافذة. وقد أثبتت النتائج من هذه التجارب أن زيادة مساحة النافذة لها أثرها الواضح في زيادة سرعة الهواء كما هو واضح في الجدول رقم (٥,٢). أما المجموعة الثانية

من التجارب العملية فقد تمت على نموذج به نافذتان في الواجهتين المتقابلتين لتوفير التهوية العرضية. وقد أثبتت النتائج من التجارب لهذه المجموعة أن سرعة الهواء تزداد كلما زادت مساحة نافذتي دخول الهواء وخروجه. وعندما تكون نافذة خروج الهواء أكبر من نافذة دخول الهواء فإن سرعة الهواء تكون عالية. والجدول (٥, ٣) يعطي ملخصاً لنتائج التجارب التي أُجريت لدراسة أثر تغيير مساحة نافذتي دخول الهواء وخروجه على المتوسط والحد الأعلى لسرعة الهواء داخل الفراغ كنسبة مئوية من سرعة الهواء الخارجي.

جدول رقم (٥, ٢). مفعول زيادة مساحة النافذة على سرعة الهواء.

نسبة عرض النافذة			اتجاه تيار الهواء
٣/٣	٢/٣	١/٣	
٪١٦	٪١٣	٪١٣	١ - عمودي على النافذة
٪٢٣	٪١٥	٪١٢	٢ - مائل في مواجهة النافذة
٪١٧	٪١٧	٪١٤	٣ - عمودي على الواجهة الخلفية للنافذة

المصدر: Givoni (1981), p. 291

جدول رقم (٥, ٣). مفعول تغيير مساحة نافذتي دخول وخروج الهواء على متوسط سرعته.

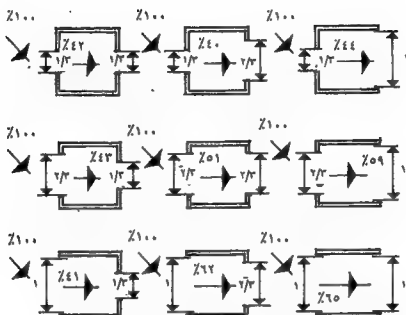
اتجاه الهواء	نسبة المساحة الفعلية لنافذة خروج الهواء	نسبة المساحة الفعلية لنافذة دخول الهواء			
		١/٣		٢/٣	
		متوسط	حد أعلى	متوسط	حد أعلى
عمودي	١/٣	٪٣٦	٪٦٥	٪٣٤	٪٧٤
	٢/٣	٪٣٩	٪١٣١	٪٣٧	٪٧٩
	٣/٣	٪٤٤	٪١٣٧	٪٣٥	٪٧٢
	١/٣	٪٤٢	٪٨٣	٪٤٣	٪٩٦
مائل	٢/٣	٪٤٠	٪٩٢	٪٥٧	٪١٣٣
	٣/٣	٪٤٤	٪١٥٢	٪٥٩	٪١٣٧
					٪١١٥

المصدر: Givoni (1981), p. 292

(٥, ٣, ٣) التهوية العرضية

إن مصطلح التهوية العرضية يطلق على تهوية الفراغ الداخلي بواسطة نافذتين إحداهما في منطقة الضغط العالي والثانية في منطقة الضغط المنخفض. يوضح الشكل رقم (٥, ٨) متوسط سرعة الهواء في حالة وجود مدخل ومخرج للهواء في الحائطين المتقابلين لتوفير التهوية العرضية وذلك عندما يكون اتجاه الهواء غير عمودي على نافذة الدخول (Givoni, 1968). وقد أثبتت النتائج من هذه التجارب أن سرعة الهواء للتهوية العرضية تزداد مع زيادة مساحة نافذة دخول وخروج الهواء وتصل أعلى معدلاتها عندما تتساوى مساحة نافذتي دخول الهواء وخروجه. في هذه الحالة تكون سرعة الهواء داخل الفراغ حوالي ٦٥٪ من سرعة تيار الهواء الخارجي.

ونتيجة لزيادة مساحة نافذة دخول الهواء إلى ثلاثة أضعاف مساحة نافذة خروج الهواء تنخفض سرعة الهواء الداخلي لتصل إلى أدنى معدل لها وهي نسبة ٤١٪ من سرعة الهواء الخارجي. وفي المقابل تزداد سرعة الهواء الداخلي عند زيادة مساحة نافذة خروج الهواء إلى ثلاثة أضعاف مساحة نافذة دخول الهواء لتصل إلى أعلى معدل لها وهي نسبة ٤٤٪ من سرعة الهواء الخارجي. وقد تمّ القيام بعمل مجموعة أخرى من التجارب العملية لدراسة مفعول زيادة مساحة نافذتي دخول الهواء وخروجه على سرعة الهواء داخل الفراغ. الجدول رقم (٥, ٤) يعطي خلاصة عامة لنتائج هذه التجارب التي أجريت على خمسة نماذج. النموذج الأول يحتوي على نافذة واحدة في منطقة الضغط العالي، والنموذج الثاني يحتوي على نافذة واحدة في منطقة الضغط المنخفض، والنموذج الثالث يحتوي على نافذتين في منطقة الضغط المنخفض، والنموذج الرابع يحتوي على نافذتين في واجهتين متجاورتين، إحداهما في منطقة الضغط العالي والثانية في منطقة الضغط المنخفض، والنموذج الخامس يحتوي على نافذتين في واجهتين متقابلتين، واحدة في منطقة الضغط العالي والثانية في منطقة الضغط المنخفض. وقد كان من أهم الملاحظات التي تمّ التوصل إليها من نتائج هذه التجارب أنه في حالة عدم وجود تهوية عرضية، فإن سرعة الهواء تكون منخفضة جداً خاصة عندما يكون اتجاه الرياح عمودياً على نافذة دخول الهواء. أما في حالة وجود تهوية عرضية، فإن المتوسط والحد الأعلى لسرعة الهواء الداخلي يرتفعان أكثر من الضعف دون اللجوء إلى زيادة مساحة النافذة.



شكل رقم (٨، ٥). التهوية للمعرضة.

المصدر: (1982), p. 335 Melaragno

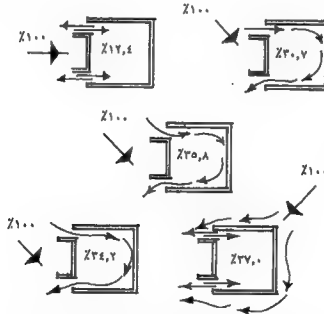
جدول رقم (٤، ٥). مفعول التهوية العرضية على سرعة الهواء الداخلي.

نوعية التهوية	موقع النافذة	اتجاه تيار الهواء	نسبة المساحة الفعلية للنافذة			
			٢/٣		٣/٣	
			متوسط	حد أعلى	متوسط	حد أعلى
مع عدم وجود تهوية عرضية	نافذة واحدة في منطقة الضغط العالي.	عمودي	٪١٣	٪١٨	٪١٦	٪٢٠
	نافذة واحدة في منطقة الضغط المنخفض.	مائل	٪١٥	٪٣٣	٪٢٣	٪٣٦
	نافذتان في منطقة الضغط المنخفض.	مائل	٪١٧	٪٤٤	٪١٧	٪٣٩
	نافذتان في منطقة الضغط المنخفض.	مائل	٪٢٢	٪٥٦	٪٢٣	٪٥٠
مع وجود تهوية عرضية	نافذتان على واجهتين متجاورتين.	عمودي	٪٤٥	٪٦٨	٪٥١	٪١٠٣
	نافذتان على واجهتين متقابلتين.	مائل	٪٣٧	٪١١٨	٪٤٠	٪١١٠
	نافذتان على واجهتين متقابلتين.	عمودي	٪٣٥	٪٥٦	٪٣٧	٪١٠٢
	نافذتان على واجهتين متقابلتين.	مائل	٪٤٢	٪٨٣	٪٤٢	٪٩٤

المصدر: (1981), p. 295 Givoni

(٤, ٣, ٥) التهوية المرضية المُستَحَثة

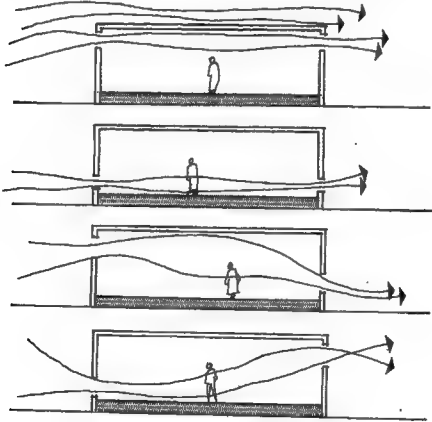
عندما تكون التوافد أو الفتحات في واجهة واحدة فقط فإن معدل التهوية الطبيعية يكون محدودا جدا نسبة لوجود فوارق بسيطة بين ضغط الهواء الخارجي وضغط الهواء الداخلي. أما عندما يكون دخول الهواء بزاوية مائلة فإن ذلك يؤدي إلى زيادة حركة الهواء بالقرب من سطح الحائط ويتسبب في وجود قدر من التباين في ضغط الهواء داخل المبنى وبالتالي يؤدي إلى زيادة سرعة الهواء. وفي حالة وجود مصد بارز عند نافذة دخول الهواء، وعندما يكون اتجاه دخول الهواء بزاوية مائلة فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاع سرعة الهواء الداخلي. وبما أن التباين في الضغط الهوائي يكون دائما بسيطا في هذه الحالة، فإن معدلات التهوية الطبيعية تكون قليلة. أما الخلاصة التي يمكن استنتاجها من نتائج هذه التجارب هي أنه يمكن زيادة كفاءة التهوية الطبيعية للمباني التي تكون لها واجهة خارجية واحدة وذلك بعمل كاسرات ومصدات للهواء قرب النافذة، شريطة أن يكون اتجاه الرياح بزاوية مائلة على الواجهة تتراوح ما بين ٢٠ إلى ٧٠ (الشكل رقم ٩, ٥).



شكل رقم (٩, ٥). زيادة سرعة الهواء بواسطة الأجزاء البارزة من النافذة.

(٥, ٣, ٥) الموقع الرأسي للنافذة

لأشك أن هناك تبايناً واضحاً في سرعة واتجاه الهواء وحركته الأفقية مقارنة بسرعة واتجاه الهواء وحركته الرأسية. إن تحديد الموقع الرأسي الملائم لنافذتي دخول الهواء وخروجه يساعد كثيراً في التحكم في مسار الهواء وتوزيعه الرأسي داخل الفراغ (الشكل رقم ٥, ١٠). إن انسياب الهواء داخل الفراغ يعتمد أساساً على اتجاه الهواء وموقع دخوله وخروجه (الشكل رقم ٥, ١١). ولذلك فإن تصميم نافذة دخول الهواء وموقعها وموقع نافذة خروج الهواء من العناصر المهمة التي تحدد الكيفية التي ينساب بها الهواء داخل الفراغ. ولقد أثبتت بعض التجارب العملية أن سرعة الهواء تحت مستوى عتبة النافذة للغرفة التي توجد بها تهوية



شكل رقم (٥, ١٠). الموقع الرأسي للنافذة وأثره على حركة الهواء.

المصدر: Melaragno (1982), p. 324



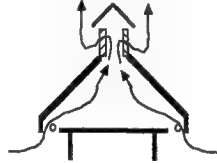
إن "كسرة الشمس المصممة تتسبب في إرتفاع الهواء المنساب إلى أعلى .



معد وجهه لشعة في كسرة الشمس يؤدي ذلك إلى إنخفاض في مستوى الهواء المنساب داخل الفراغ



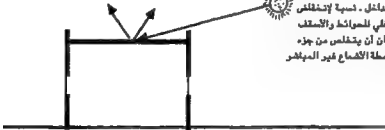
إن الثمانين في مراحلة الحرارة يولي إلى تشكيل تيار هوائي يساعد علي التخلص من الهواء الحار .



في المناطق الصارة الجافة تكون درجة حرارة الهواء الخارجي منخفضة جداً أثناء الليل مقارنةً بدرجة حرارة الهواء الداخلي . وبالتالي يمكن الإستفادة من التهوية الطبيعية لتقليل درجة حرارة السقف والعوازل والأرضيات



الليل



أثناء النهار يستحسن قفل الفراغ ومنع الهواء الحار من التسرب إلى الداخل . نسبة لإنخفاض درجة حرارة السطح الداخلي للسواحل والسمت والارضيات ، يمكن للإنسان أن يتخلص من جزء من حرارته الملتصقة بواسطة الانعكاس غير المباشر إلى هذه الأسطح .

النهار

شكل رقم (١١، ٥). أثر اتجاه موقع دخول الهواء وخروجه.

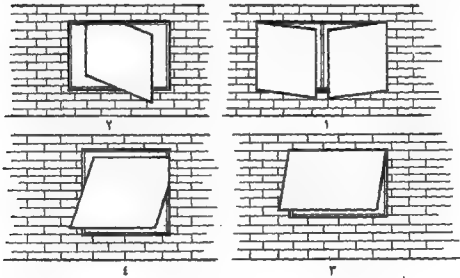
عرضية قد تنخفض بمعدل ٢٥٪ مقارنة بسرعة التيار الرئيسي للهواء. ولذلك فإن تغيير مستوى عتبة النافذة قد يتسبب في تغيير سرعة الهواء في مواقع أخرى كثيرة داخل الفراغ مع وجود تغيير طفيف في المتوسط العام لسرعة الهواء داخل الغرفة. إذا كان ارتفاع النافذة في غرفة المعيشة أعلى من مستوى الشخص الجالس، فلن التهوية الطبيعية في هذه الحالة قد تكون رديئة للغاية في المنطقة المستعملة داخل الفراغ إلا إذا تمّ علاجها بطرق أخرى. تكون سرعة الهواء أثناء الليل منخفضة جدا في المناطق التي تتميز بالمناخ الحار، ويكون من الضروري زيادة سرعة الهواء من أجل الاستفادة القصوى من مفعول تبخر العرق من على سطح جسم الإنسان وللتنخلص من تراكمات الرطوبة العالية داخل الفراغ في المناطق الحارة الرطبة. في هذه المناطق لابد من العناية والدقة في اختيار موقع الفتحات من أجل توفير أعلى قدر من سرعة الهواء داخل الفراغ.

(٦، ٣، ٥) تصميم وطريقة فتح النافذة

يمكن الحصول على التهوية الطبيعية داخل المباني بواسطة الفتحات المختلفة والتي عادة ما تكون في الغلاف الخارجي للمبنى. والنوافذ تُعتبر الوسيلة الشائعة الاستعمال لتوفير التهوية الطبيعية في كثير من المناطق على اختلاف مناخاتها ومغطها العمراني. إن تصميم الطريقة التي تُفتح بها النافذة تُعتبر من العوامل المهمة التي تؤثر على فعالية التهوية الطبيعية. عموما هنالك أربعة نُظم رئيسية لفتح النافذة والتي تعتمد أساسا على طريقة تثبيت النافذة على الإطار الخارجي. هذه النظم الأربعة والتي تؤثر على حركة الهواء داخل المبنى (الشكل رقم ١٢، ٥)، يمكن تلخيصها كالتالي:

النظام الأول ويشمل النوافذ المثبتة في الجوانب الرأسية من الإطار الخارجي double hung، والنظام الثاني يشمل النوافذ المثبتة على المحور الراسمي من الإطار الخارجي vertical pivot والنظام الثالث يشمل النوافذ المثبتة في الجانب الأفقي الأعلى من الإطار top hung والنظام الرابع يشمل النوافذ المثبتة في المحور الأفقي من الإطار horizontal pivot. إن مفعول النافذة المثبتة في الجوانب الرأسية من الإطار على التهوية الطبيعية يعتمد على الجزء المفتوح منها، وعلى اتجاه الفتح وعلاقته باتجاه تيار الهواء الخارجي. إن فعالية التحكم في حركة الهواء داخل المبنى بواسطة هذا النظام

يُعتبر محدودا للغاية. في حين أن النافذة المثبتة على المحور الرأسي تُعتبر ذات فعالية عالية جدا في توجيه الهواء، خاصة إذا كان جزء كبير من النافذة يمتد إلى خارج محيط المبنى. عند اصطدام الهواء بالجزء البارز من النافذة فإن ذلك يؤدي إلى زيادة كبيرة في سرعة الهواء ويؤثر على اتجاهه. كذلك يمكن الاستفادة من هذا النوع من النوافذ للحصول على التهوية الطبيعية لغرفة واحدة من المبنى دون التأثير على معدلات التهوية الطبيعية وحركة الهواء داخل المبنى ككل. أما النافذة المثبتة في الجانب الأفقي من الإطار فهي تساعد على توجيه حركة الهواء إلى السقف، وبالتالي فهي وسيلة فعالة للاستفادة من تيار الهواء الخارجي عندما تكون درجة حرارة الهواء الداخلي منخفضة جدا ودرجة حرارة الهواء الخارجي مرتفعة جدا، كما قد يحدث أثناء النهار في فصل الشتاء في بعض المناطق التي تتميز بالمناخ الحار الجاف. أما النافذة المثبتة من مركزها الأفقي فهي أيضا فعالة جدا في تحكمها في سرعة واتجاه الهواء داخل المبنى. بواسطة هذا النوع من النوافذ يمكن توجيه الهواء إلى أعلى في اتجاه السقف، أو إلى أسفل في اتجاه الأرض أو المرور في منتصف الفراغ بما يلائم متطلبات التهوية الطبيعية.



- ١ - نافذة مثبتة تفتيحاً مزدوجاً. ٢ - نافذة مثبتة من مركزها.
٣ - نافذة مثبتة من الجزء الأعلى. ٤ - نافذة مثبتة من مركزها.

شكل رقم (١٢، ٥). النظم الرئيسية لفتح النافذة وتثبيتها وأثرها على توزيع الهواء.

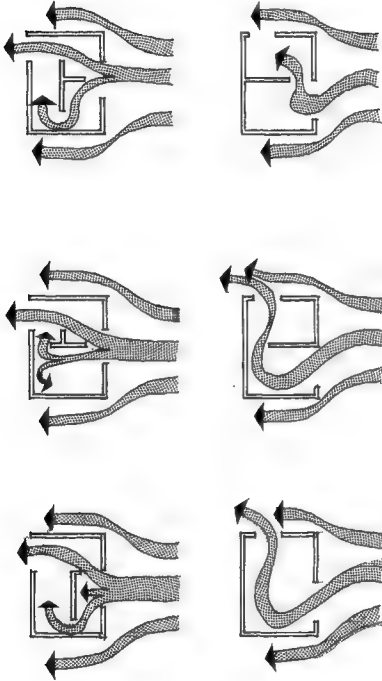
المصدر: Fisk (1981), p. 124.

(٥, ٣, ٧) تصميم الفواصل الداخلية

لقد تم إجراء العديد من التجارب المعملية لدراسة مفعول تصميم الفواصل الداخلية وتوزيعها على سرعة ومطح حركة الهواء داخل المباني (Givoni, 1968 and Melaragno, 1982) وقد أثبتت النتائج من هذه التجارب أن موقع الفواصل الداخلية بالنسبة لموقع نافذتي دخول الهواء وخروجه له أثره الواضح على سرعة الهواء وتوزيعه داخل الفراغ (الشكل رقم ١٣, ٥). بالنسبة للتجارب المعملية التي تم إجراؤها كان اتجاه دخول الهواء عموديا وقد أخذت القياسات في مستوى منتصف النافذة، والشكل رقم (٥, ١٤) يوضح تباين سرعة الهواء نتيجة لوجود الفواصل الداخلية.

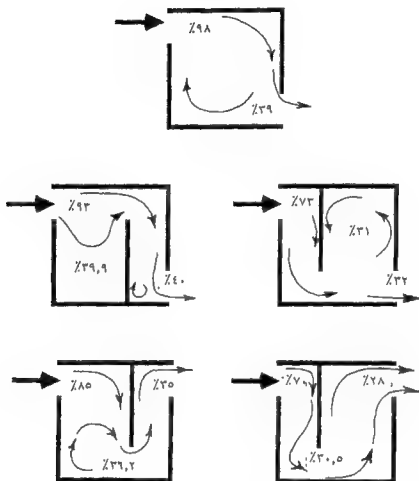
(٥, ٣, ٨) الشبك السلكي المثبت على النافذة

إن وجود الشبك السلكي الواقى من الحشرات والأتربة والعواصف الرملية يُعتبر ضروريا جدا خاصة في المناطق الاستوائية والمدارية التي تكثر فيها الحشرات والعواصف الرملية. إن وجود الشبك السلكي المثبت على إطار النافذة يؤدي إلى انخفاض واضح في سرعة الهواء الذي يدخل عبر النافذة خاصة إذا كانت السرعة الأساسية للهواء ضعيفة جدا. ولقد أثبتت نتائج التجارب أن مفعول الشبك السلكي يعتمد أساسا على الأثر المشترك لاتجاه الرياح وعدد النوافذ الخاصة بدخول الهواء وموقعها (Givoni, 1981). يكون معدل انخفاض سرعة الهواء أكبر بالنسبة للهواء الذي يدخل بزاوية مائلة بالمقارنة لمعدل انخفاض سرعة الهواء الذي يدخل بزاوية عمودية. ولقد لجأ بعض المصممين إلى تثبيت الشبك السلكي على واجهة البلكونة بدلا من تثبيته على الإطار الخاص بالنافذة نفسها. في هذه الحالة يتمكن الهواء من الدخول عبر مساحة كبيرة من الشبك السلكي ومن ثم يتجمع ليدخل من خلال النافذة الحرة الخالية من أي عائق، وبالتالي يعطي معدلات أكبر من التهوية الطبيعية بالمقارنة لتلك التي يمكن الحصول عليها عند تثبيت الشبك السلكي على إطار النافذة.



شكل رقم (١٣ و ٥). النمط العام لحركة الهواء نتيجة للفواصل الداخلية.

المصدر: Melaragno (1982), p. 325



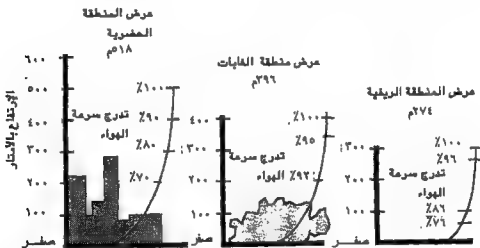
شكل رقم (١٤, ٥). التباين في سرعة الهواء نتيجة للفواصل الداخلية.

المصدر: Melaragno (1982), p. 327

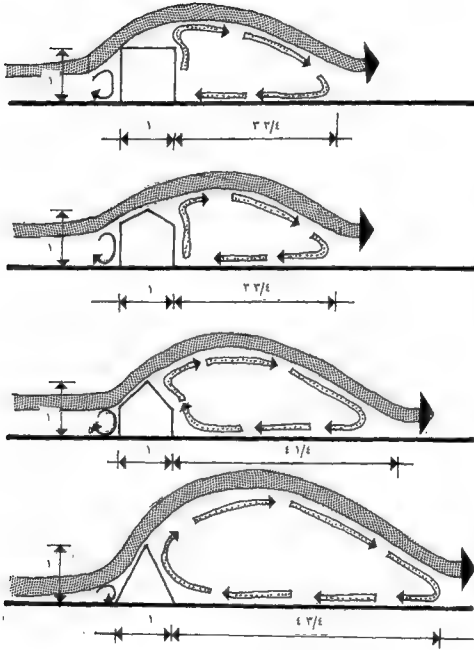
(٥, ٣, ٩) التخطيط العام للموقع وعلاقته بحركة الهواء

إن حركة الهواء داخل المدن تتفاعل وتتأثر بالغطاء الطبيعي «التخطيط الحضري للموقع». هنالك عناصر عديدة تؤثر على سرعة الرياح على سطح الأرض واتجاهها والتي تؤثر بدورها على معدلات التهوية الطبيعية داخل المباني. إن سرعة الهواء بالقرب من سطح الأرض تكون منخفضة مقارنة بسرعة الهواء في المستويات العليا للغطاء الخارجي. لاشك أن معدل انخفاض سرعة الهواء بالقرب من سطح

الأرض يعتمد على طبوغرافية السطح ومفعول احتكاك الهواء بالمباني. الشكل رقم (١٥، ٥) يبين كيف تتأثر سرعة الهواء في ثلاثة مواقع. الموقع الأول يمثل المناطق الريفية المفتوحة، والموقع الثاني يمثل المناطق شبه الحضرية والتي تحتوي على بعض المباني المتفرقة والقليلة الارتفاع، والموقع الثالث يمثل المناطق الحضرية والتي تحتوي على كثافة عالية من المباني الشاهقة. وبما أن معدلات سرعة الهواء التي توفرها مصالح الأرصاد في البلدان المختلفة غالبا ما يتم تسجيلها في محطات توضع في مستويات مرتفعة، فإن معدلات السرعة المسجلة تكون أعلى من سرعة الهواء الحقيقية داخل المناطق الحضرية العالية الكثافة. ويمكن تقدير السرعة الحقيقية للهواء في هذه المناطق بواسطة المنحنيات المبينة في الشكل. كذلك فإن الشكل العام للمبنى يلعب دورا مهما في تشكيل حركة الرياح حول المبنى ويتفاعل مع اتجاه الرياح ليحدد مناطق الضغط العالي والضغط المنخفض حوله كما هو واضح في الشكل رقم (١٦، ٥). إن تحديد مناطق الضغط العالي والضغط المنخفض يساعد المصمم المعماري في اختيار الموقع الأمثل لدخول الهواء وخروجه من أجل الحصول على أعلى المعدلات من التهوية الطبيعية. فإذا نظرنا إلى شجرة واحدة فإن حركة الهواء حولها تأخذ شكلا معينا، وفي حالة إضافة شجيرة صغيرة مرة في مواجهة الهواء وأخرى في الجهة الخلفية لاتجاه الهواء ينشأ التباين الواضح في حركة الهواء (الشكل رقم ١٧، ٥).



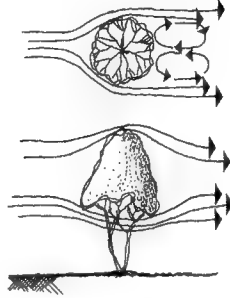
شكل رقم (١٥، ٥). تدرج سرعة الهواء نتيجة للتباين في طبوغرافية سطح الأرض.



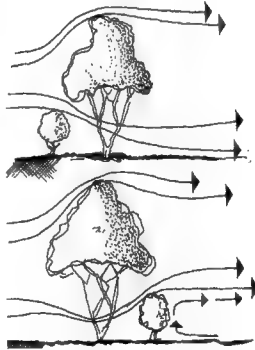
شكل رقم (١٦، ٥). عرض المبنى وأثره على حركة الرياح.

المصدر: Melaragno (1982), p. 348.

الشكل يوضح انكسار الهواء بواسطة الأشجار، ويؤدي ذلك إلى زيادة سرعة الهواء تحت ظل الشجرة، مع وجود منطقة محمية من الهواء خلف أوراق الشجرة.



الشكل يوضح وجود شجيرات صغيرة بالقرب من شجرة كبيرة ويؤدي إلى زيادة سرعة الهواء بالقرب من سطح الأرض إذا كانت الشجيرات في المقدمة بالنسبة لاتجاه الرياح. ويؤدي ذلك إلى زيادة سرعة الهواء مع ارتفاعه إلى أعلى إذا كانت الشجيرات خلف الشجرة بالنسبة إلى اتجاه الرياح مع وجود منطقة محمية خلف الشجيرات مباشرة.

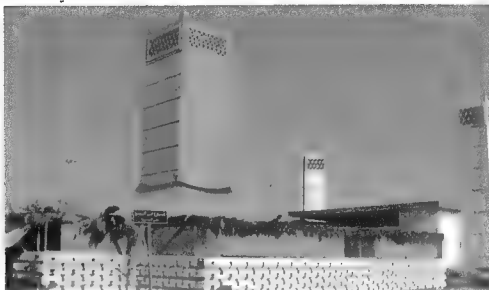


شكل رقم (١٧، ٥). مفعول موقع الأشجار على حركة الهواء.

المصدر: Melaragno (1982). p. 345

(٥, ٤) الملاقف الهوائية

من الحلول الجيدة للتهوية الطبيعية في العمارة التقليدية استعمال الملاقف الهوائية (الصورتان ٥, ٣ و ٥, ٤). وقد انتشر استعمال الملاقف الهوائية في المناطق



صورة رقم (٥, ٣). غمادح من الملاقف الهوائية

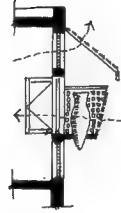


صورة رقم (٥, ٤). تفصيلة لفتحة الملقف الهوائي، العليا - الرياض.

الحارة لزيادة فعالية التهوية الطبيعية والتحكم في سرعة الهواء وتوزيعه داخل المباني . ولقد امتد استعمال الملاقف الهوائية من الهند والباكستان شرقاً مروراً بإيران وأفغانستان ودول الخليج العربي إلى شمال أفريقيا غرباً . فقد استعمل الملقف الهوائي في المناطق ذات المناخ الحار الرطب في الكويت وقطر والبحرين ودولة الإمارات العربية المتحدة وفي المناطق ذات المناخ الحار الجاف في العراق وإيران (Konya, 1984). وقد اختلفت الملاقف الهوائية في شكلها وتصميمها وارتفاعها ولكن الهدف الأساسي منها ظل ثابتاً، وهو التقاط الهواء النقي والبارد نسبياً والموجود في الطبقات العليا من الفضاء الخارجي وجعله ينساب عبر الفراغات الداخلية بواسطة عمق هوائي رأسي محاط بجدار سميك يتميز بسعة حرارية عالية . قد يكون الملقف الهوائي ثابت التوجيه وفي مواجهة الرياح المحببة أو له عدة اتجاهات ثابتة أو مزود بمدخل للهواء مرتكز على محور يمكن التحكم في توجيهه إلى مختلف الاتجاهات على حسب اتجاه الرياح المفضلة . وبما أن الممر الهوائي للملقف لا يتعرض إلى أشعة الشمس المباشرة ومحاط بجدار سميك يتميز بسعة حرارية عالية فإنه يظل منخفض الحرارة مما يساعد في خفض درجة حرارة الهواء الذي يمر من خلاله . بعض الملاقف الهوائية كانت تزود بشبك من السلك الناعم أو الخيش لتنقية الهواء من الأتربة والشوائب الأخرى كالخشرات والطيور، وبعضها الآخر كان يُزود أيضاً بكميات من الفحم المحروق الذي يساعد على امتصاص الروائح الكريهة من الهواء ، أما في المناطق التي تتميز بالمناخ الحار الجاف فإن الفرصة تكون سانحة للاستفادة من عملية تبخر الماء في خفض درجة حرارة الهواء المنساب عبر الممر الهوائي . يتم في هذه الحالة وضع جرة فخارية بها ماء في الممر الهوائي وعندما يمر الهواء الجاف ويلامس سطح الجرة يتبخر الماء وتنخفض درجة حرارة الهواء وترتفع نسبة الرطوبة وبالتالي يساعد في تلطيف مناخ الفراغ الداخلي (الشكل رقم ١٨ ، ٥) . ومن أجل الاستفادة القصوى من التهوية الطبيعية بواسطة الملاقف الهوائية لابد من دراسة حركة الرياح، اتجاهها وخصائصها (Al-Megren, 1987) . في مصر كان الملقف الهوائي يُوجّه لالتقاط الرياح الشمالية الغربية ويُغطى بسقف مائل ٣٥° لكي يساعد في دفع الهواء إلى داخل المبنى . يندفع الهواء من الخارج ويدخل إلى الفراغ الرئيسي من المبنى كالصلالة الرئيسية أو الفناء الداخلي ومن ثم يتوزع على بقية الفراغات الداخلية كما هو واضح في الشكل رقم (١٩ ، ٥) . في العراق يُعرف الملقف الهوائي بالباجير، وهو

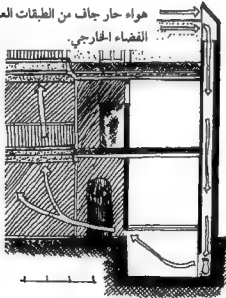


شبكة لملي لتنتقية الهواء من الأتربة والشوائب ومنع الطيور والحشرات من الدخول إلى المبنى.



جرة بها ماء، عند مرور الهواء عليها يتبخّر الماء فتتخفّض درجة حرارته وترتفع نسبة الرطوبة.

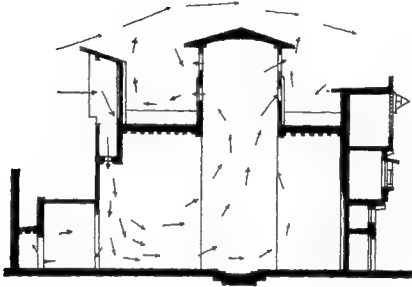
هواء حار جاف من الطبقات العليا من الفضاء الخارجي.



جرة لحفظ الماء المتساقط لاستعماله في ري النباتات.

شكل رقم (١٨، ٥). الملقف الهوائي الذي استعمل في المناطق الحارة الجافة.

المصدر: Konya (1984), p. 56



شكل رقم (١٩، ٥). الملقف الهوائي الذي استعمل في مصر.
المصدر: فتحي (١٩٨٨). ص ١٦٩.

عبارة عن عدة فراغات أو تجويفات صغيرة في الحائط الرئيسي (١٥٠ × ٥٠٠) مليمتراً تقريباً) وتكون مفتوحة على ارتفاع يتراوح ما بين ١٨٠٠ إلى ٢١٠٠ مليمتراً فوق مستوى السقف ولها غطاء مائل ٤٥° ليساعد في دفع الهواء إلى الداخل. وبالنسبة للمنازل القديمة في العراق والتي تحتوي على الفناءات المفتوحة، عادة ما تكون مزودة بالعديد من الملآقف الهوائية التي تساعد على التقاط النسيم ودفعه إلى الطوابق السفلى من المنزل، خاصة الغرف التي تقع تحت مستوى سطح الأرض والتي عادة ما تُستعمل في فترات الظهيرة في فصل الصيف الحار (الشكل رقم ٥، ٢٠). أما في إيران فكان البادجير يحتوي على العديد من الممرات الهوائية التي لها فتحات في اتجاهات مختلفة حيث تُستعمل الفتحة المواجهة لاتجاه الرياح المفضلة كمدخل للهواء في حين تستعمل الفتحة المدببة لاتجاه الرياح كمخرج للهواء كما هو واضح في الشكل رقم (٥، ٢١). كان البادجير يُصمم لتهدئة الغرف التي تكون تحت مستوى الأرض ومن ثم ينساب الهواء إلى الفراغات الأخرى (Tavassoli, 1982). بالإضافة إلى وظيفته الأساسية، فقد استعمل الملقف

الهوائي في إيران لتبريد المياه في الخزانات التي توجد تحت مستوى سطح الأرض كما هو مبين في الشكل (٥، ٢٢). أما في دول الخليج فقد انتشر استعمال البادجير نتيجة لهجرة بعض التجار من جنوب إيران واستيطانهم في سواحل هذه الدول. نسبة لعدم إمكانية البناء تحت مستوى الأرض نتيجة لارتفاع منسوب المياه الجوفية في هذه المناطق، فقد اقتصر استعمال البادجير على تهوية الغرف فوق مستوى الأرض. كما استعمل البادجير لتهوية المباني السكنية في أفغانستان كما هو واضح في الشكل رقم (٥، ٢٣). أما في باكستان فقد استعمل الملقف الهوائي أو البادجير خلال القرون الخمسة الماضية، حيث كان يتم توجيهه نحو الرياح المفضلة، ويؤدي ذلك إلى دخول الهواء النقي والبارد نسبياً من الطبقات العليا من الفضاء إلى الفراغات الداخلية وخروجه عبر النوافذ (الشكل رقم ٥، ٢٤). أما عندما يتغير اتجاه الرياح ويمر من خلف فتحة الملقف فإنه يتسبب في سحب الهواء من الداخل، ويؤدي ذلك إلى انخفاض في ضغط الهواء داخل الممر الهوائي الخاص بالملقف، وبالتالي يؤدي ذلك إلى جذب الهواء من الخارج عبر النوافذ. ونتيجة لاستعمال هذا النوع من الملاقف الهوائية في حيدر أباد فقد انخفضت درجة حرارة الهواء من ٤٩°م إلى ٣٥°م في فصل الصيف من شهر إبريل إلى شهر يونيو (Melaragno, 1982). ولقد تم استعمال الملقف الهوائي في كثير من المباني المعاصرة، منها على سبيل المثال محاولات المهندس حسن فتحي الرائدة في استعمال الملقف الهوائي لتهوية فيلا سكنية بالملكة العربية السعودية (الشكل رقم ٥، ٢٥) (فتحي، ١٩٨٨م). أما الملقف الهوائي لمشروع قرية النيل للاحتفالات بالأقصر يُعتبر مثالا جيدا لكيفية استعمال الملاقف الهوائية لتهوية المباني الكبيرة (الشكل رقم ٥، ٢٦) بهدف تغيير اتجاه حركة الهواء داخل المبنى ليصير عكس اتجاهه الخارجي، وقد كان ذلك ضروريا بحيث يأتي الهواء للمتفرجين من أمامهم وليس من خلفهم.

وللملقف الهوائي العديد من الفوائد والمميزات نذكر منها على سبيل المثال

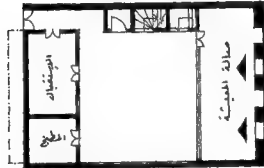
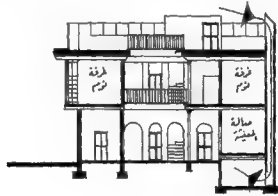
لا الحصر النقاط التالية (Al-Megren, 1987) :

- (١) يساعد الملقف الهوائي في توفير التهوية الطبيعية وذلك بالتقاط الرياح المفضلة وجعلها تنساب عبر الفراغات الداخلية بصرف النظر عن توجيه السام للمبنى وعلاقته باتجاه الرياح.

(ب) يساعد الملقف الهوائي على التقاط الهواء النقي الخالي من الأتربة والشوائب الأخرى من الطبقات العليا من الفضاء الخارجي، في حين أن التهوية الطبيعية بواسطة النافذة قد تؤدي إلى دخول الأتربة وذرات الرمال والتي عادة ماتنتشر بالقرب من سطح الأرض خاصة في المناطق الحارة.

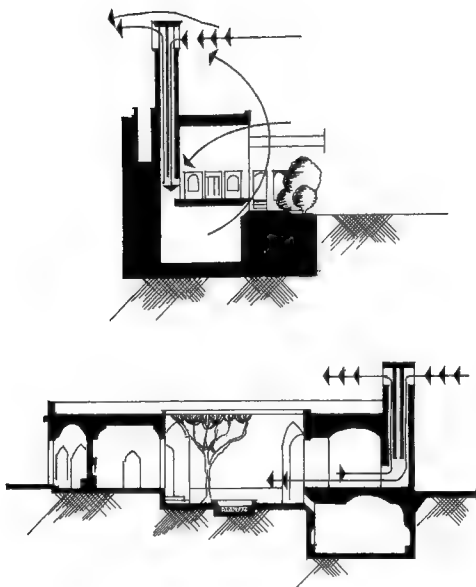
(ج) يساعد الملقف الهوائي على التقليل من الإزعاج والضوضاء من الخارج والتي قد تصاحب التهوية الطبيعية بواسطة النافذة.

(د) بما أن سرعة الهواء في الطبقات العليا من الفضاء الخارجي غالبا ما تكون أعلى من سرعة الهواء القريب من سطح الأرض، فإن الملقف الهوائي وبحكم ارتفاعه في الفضاء الخارجي يوفر تهوية طبيعية جيدة ويساعد في زيادة سرعة الهواء.

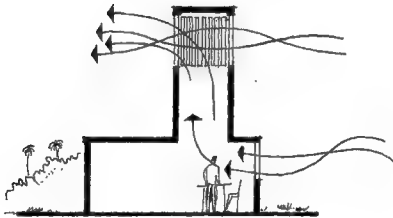
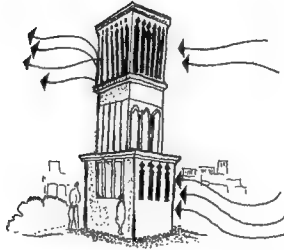


شكل رقم (٢٠، ٥). الملقف الهوائي الذي استعمل في العراق.

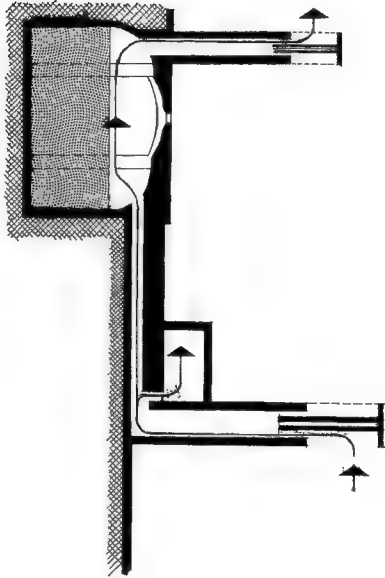
المصدر: المرقن (١٩٨٩م). ص ٤٧.



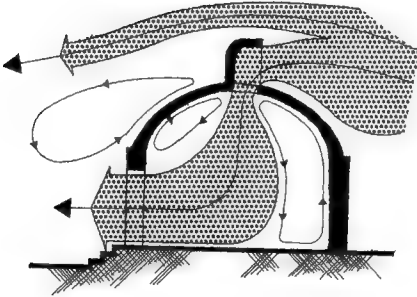
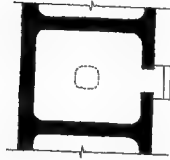
شكل رقم (٢١ و ١٥). لللقف الهوائي المتعدد الاتجاهات في إيران.
المصدر: المقرن (١٩٨٩م). ص ٥٦.



شكل رقم (٢١, ٥ ب). الملقف الهوائي متمدد الاتجاهات في إيران ودولة الإمارات العربية المتحدة.

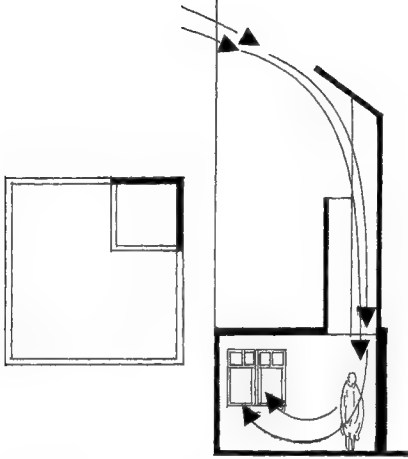


شكل رقم (٣٢)، الملقب الهوائي، الذي كان يستعمل لتبريد المياه.
المصدر: TAVISSOLI (1982), p. 92



شكل رقم (٢٣، ٥). الملقف الهوائي الذي كان يستعمل في أفغانستان.

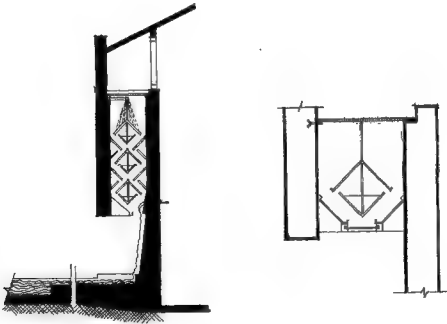
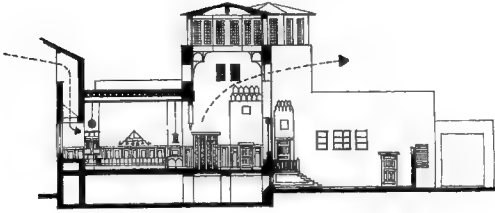
المصدر: Tavassoli (1982), p. 87



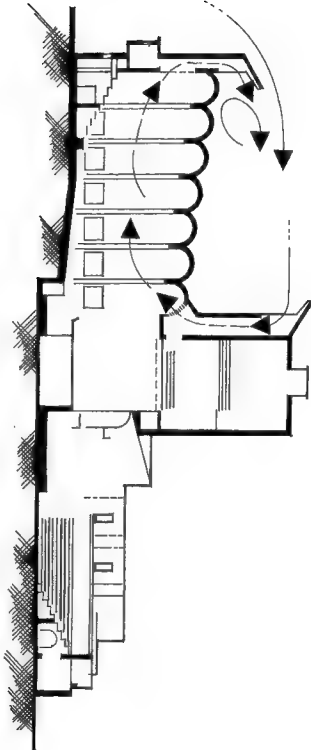
الملقف الهوائي الذي استعمل في حيدر أباد - باكستان خلال العقود الخمسة الماضية. كان يتم توجيه فتحة الملقف باتجاه الرياح المفضلة، فيدخل الهواء عبر الملقف ويخرج من خلال النوافذ. وعندما يكون اتجاه الهواء عكس اتجاه فتحة الملقف تؤدي حركة الهواء إلى وجود انخفاض في الضغط عند فتحة الملقف، ويؤدي ذلك إلى سحب الهواء من الداخل.

شكل رقم (٢٤، ٥). الملقف الهوائي الذي كان يستعمل في باكستان.

المصدر: Melaragno (1982). p. 339



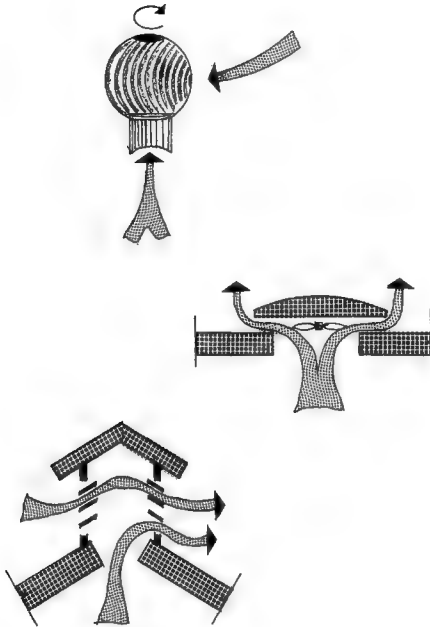
شكل رقم (٢٥، ٥). الملف الهوائي الذي استعمل لتهوية فيلا حديثة بالملكة العربية السعودية.
المصدر: فتحي (١٩٨٨م). ص ١٨٠.



شكل رقم (٣٦ و ٥). الملقب الهوائي بني النيل للاحتفالات بالأكبر، مصر.
المصدر: القرن (١٩٨٩م). ص ٥٦.

(٥, ٥) وحدات التهوية الطبيعية Natural Ventilator

ظهرت في العمارة المعاصرة بعض الحلول التي أثبتت فعاليتها في رفع معدلات التهوية الطبيعية، ومن هذه الحلول وحدات التهوية الطبيعية التي انتشر استعمالها في المباني عامة والصناعية منها خاصة. وتعتمد وحدات التهوية الطبيعية أساساً على قوة الدفع الحراري الناتج من التباين في درجات حرارة الهواء. عندما يكون هنالك تباين واضح بين درجة حرارة الهواء في المستويات المختلفة من المبنى، حيث تكون درجة حرارة الهواء في المستويات المنخفضة أعلى من درجة حرارة الهواء في المستويات العليا، يؤدي ذلك إلى ارتفاع الهواء الحار إلى أعلى نتيجة لانخفاض كثافته. وفي حالة وجود مخرج في المستويات العليا من غلاف المبنى يتسرب الهواء الحار إلى الخارج ويؤدي ذلك إلى انخفاض واضح في الضغط داخل المبنى مما يساعد في عملية سحب الهواء البارد نسبياً من الخارج وبالتالي يساعد في عملية التهوية الطبيعية. ومن أجل زيادة سرعة الهواء المتسرب إلى الخارج استُخدِمت وحدات التهوية الطبيعية والتي عادة ما توضع في المستويات العليا من السقف كما هو واضح في الشكل رقم (٥, ٢٧). وفي الحالات التي تكون فيها قوة الدفع الحراري غير كافية يمكن استعمال المراوح والثرينيات الهوائية من أجل زيادة سرعة سحب الهواء إلى خارج المبنى. كما أنه يمكن الاستفادة من تيار الهواء الخارجي للمساعدة في عملية سحب الهواء، وبالتالي زيادة سرعة خروج الهواء عبر وحدات التهوية الطبيعية دون اللجوء إلى استعمال المراوح.



شكل رقم (٢٧، ٥). وحدات التهوية الطبيعية التي انتشر استعمالها في المباني الصناعية المعاصرة.

اختيار أجهزة التبريد والتدفئة

لا شك أن هذا الموضوع ليس من اختصاص المهندس المعماري، ولكن كان من الضروري التطرق له وبصورة مختصرة لمساعدة طلاب العمارة في استيعاب أساسيات التبريد والتدفئة. ومن أجل الحصول علي معلومات مفصلة وأكثر دقة، ينصح بالرجوع إلي الكتب المتخصصة في هذا المجال.

بشكل عام ينقسم الحمل الحراري إلى قسمين رئيسيين (Koenigsberger, 1973):

(أ) حساب الحمل الحراري المكتسب.

(ب) حساب الحمل الحراري المفقود.

١ - حساب الحمل الحراري المكتسب

إن الهدف الأساسي من حساب الحمل الحراري المكتسب هو اختيار جهاز التبريد المناسب والذي يوفر الراحة الحرارية المطلوبة خلال الفترة الحارة. ولشرح مختصر للطريقة التي يمكن أن تتم بها هذه العملية يستحسن إعطاء المثال الآتي:

مثال

غرفة مكتب مربعة الشكل 5×5 متر وارتفاع $2,5$ متر في منتصف مبنى متعدد الأدوار وله حائط واحد مُعرّض للمناخ الخارجي، وهو الحائط الجنوبي، في حين أن الحوائط الثلاثة الأخرى مشتركة. ومعدل التهوية المطلوب هو تغيير هواء المكتب ثلاث مرات لكل ساعة. أما الإضاءة الاصطناعية فهي عبارة عن أربع لمبات، قوة كل لمبة $75 = 0,075$ واط، ويعمل بالمكتب أربعة موظفين. الحائط الجنوبي يحتوي على نافذة زجاجية مقاسها $1,5 \times 0,75$ متر مربع. وإذا افترضنا أن معامل انتقال الحرارة الكلي للزجاج $4,48$ واط/متر مربع - درجة مئوية، وأن

معامل انتقال الحرارة الكلي للحائط الخرساني = $1,35$ واط/ متر مربع - درجة مئوية . ومساحة الحائط الجنوبي = $1 \times 5 = 5$ متر مربع .
 لنفترض أنّ درجة حرارة الهواء الخارجي = $34^\circ \text{م}.$
 وأن درجة الحرارة المطلوبة للهواء الداخلي = $24^\circ \text{م}.$
 أشعة الشمس = 750 واط / متر مربع .
 معامل الامتصاص الحراري للحائط $\alpha = 0,4$.
 معامل التوصيل الحراري للسطح الخارجي (f) = 10 واط/ متر مربع - درجة مئوية .
 معامل الكسب الحراري نتيجة لأشعة الشمس $\theta = 750$.

الحل

الفرق في درجات الحرارة $\delta T = 34 - 24 = 10^\circ \text{م}.$
 هذا الفرق يستعمل في حساب الكسب الحراري بواسطة التوصيل عبر الزجاج والكسب الحراري الناتج من التهوية الطبيعية . أمّا بالنسبة للأسطح غير الشفافة (الحائط الخرساني) فيجب استعمال المفعول المشترك لدرجة حرارة الهواء وأشعة الشمس المباشرة sol-air temperature ، والذي يتم حسابه كالآتي :

$$T_s = 34 + \frac{0,4 \times 750}{10} = 64^\circ \text{م}.$$

وبالتالي يكون الفرق في درجة الحرارة بالنسبة للحائط = $dT = 64 - 24 = 40^\circ \text{م}.$

الكسب الحراري بواسطة التوصيل $Q_c =$

(مساحة الزجاج \times معامل إنتقال الحرارة الكلي \times الفرق في درجة الحرارة) +
 (مساحة الحائط غير الشفاف \times معامل انتقال الحرارة الكلي \times الفرق في درجة الحرارة).

$$Q_s = 266 + 346 = (40 \times 1,35 \times 5) + (10 \times 4,48 \times 7,5)$$

الكسب الحراري بواسطة الإشعاع $Q_s =$

(مساحة الزجاج \times معدل الإشعاع \times معامل الكسب الحراري نتيجة لأشعة الشمس)
 $= 0,75 \times 750 \times 7,5 = 4219$ واط .

الكسب الحراري نتيجة للتهوية الطبيعية $Q_v =$

حجم المكتب $= 2,5 \times 5 \times 5 = 62,5$ متر مكعب.

$$\text{معدل تغيير الهواء} = \frac{62,5 \times 3}{3600} = \frac{187,5}{3600} = 0,052$$

(الحرارة النوعية الحجمية للهواء \times معدل تغيير الهواء \times الفرق في درجات الحرارة)
 $= 1300 \times 0,052 \times 10 = 676$ واط.

الكسب الحراري الداخلي $Q_i =$

الكسب الحراري الداخلي يشمل الحرارة الناتجة من لمبات الإضاءة الأربع، إضافة إلى الحرارة المكتسبة من الموظفين الأربعة. وعلى افتراض أن معدل إنتاج الحرارة من كل موظف $= 140$ واط. يكون الناتج الكلي للحرارة الداخلية =
 $(75 \times 4) + (140 \times 4) = 300 + 560 = 860$ واط.

وبالتالي يمكن كتابة معادلة الاتزان الحراري =

$$\text{صفر} = Q_i - Q_v - Q_s - Q_c - Q_m$$

$$Q_m = Q_i + Q_v + Q_s + Q_c$$

حيث

Q_m = كفاءة جهاز التبريد.

Q_i = الكسب الحراري من الأجهزة والمعدات والأشخاص داخل الفراغ.

Q_v = الكسب الحراري نتيجة للتهوية الطبيعية.

Q_c = الكسب الحراري نتيجة للتوصيل.

Q_s = الكسب الحراري نتيجة لأشعة الشمس المباشرة.

وبالتعويض في المعادلة السابقة:

$$Q_m = 860 + 676 + 4219 + 612 = 6267$$

وبالتالي تكون كفاءة الجهاز المطلوبة من أجل التبريد $= 6,3$ كيلواط تبريد.

التبريد بواسطة الهواء البارد

إذا كانت الوسيلة المستعملة للتبريد هي الهواء، في هذه الحالة يكون المطلوب هو تحديد معدل تغيير الهواء الداخلي بهواء بارد من جهاز التبريد. وإذا افترضنا أن درجة حرارة الهواء الخارج من جهاز التبريد هي 20°م ، ودرجة حرارة الهواء

الراجع هي ٢٤ م°.

الفرق في درجة الحرارة = ٢٤ - ٢٠ = ٤ م°.

كمية الحرارة التي يجب التخلص منها، كما في المثال الأول، $Q_v = ٦٣٠٠$ واط.

كمية الحرارة التي يجب التخلص منها بواسطة ضخ الهواء البارد (راجع الفصل

الخامس) = الحرارة النوعية الحجمية للهواء \times معدل التهوية \times الفرق في درجات

الحرارة

$$٦٣٠٠ = ٤ \times ٧ \times ١٣٠٠ = Q_v$$

$$٧ = \frac{٦٣٠٠}{٥٢٠٠} = ١,٢ \text{ متر مكعب / ثانية}$$

ومن أجل راحة الإنسان يجب أن تكون سرعة الهواء في حدود ٢ متر/ثانية.

وعليه يمكن حساب مساحة مخرج الهواء البارد كالتالي:

$$\frac{\text{معدل التهوية المطلوبة}}{\text{معدل سرعة الهواء}}$$

$$١,٢ = \frac{١}{٢} \text{ متر مربع.}$$

$$١٠٠٠ \times ٦٠٠ = \text{م.م.}$$

٢ - حساب الحمل الحراري المفقود

إن الهدف الأساسي من حساب الحمل الحراري المفقود هو اختيار الجهاز

المناسب للتدفئة. ولشرح الطريقة المختصرة لهذه العملية يمكن إعطاء المثال التالي:

المعطيات نفسها في المثال الأول، إضافة إلي الآتي:

درجة حرارة الهواء الخارجي = ٤ م°.

الحصل

وإذا افترضنا عدم وجود أشعة الشمس، تكون معادلة الاتزان الحراري

كالآتي:

$$\text{صفر} = Q_i - Q_c - Q_v + Q_m$$

$$Q_v + Q_c - Q_i = Q_m$$

الفرق في درجة حرارة الهواء = $24 - 4 = 20^{\circ}\text{م}$.
 معدل تدفق الحرارة بواسطة التوصيل Q_c عبر الحائط والنافذة =
 (مساحة الحائط \times معامل انتقال الحرارة الكلي \times الفرق في درجة الحرارة) +
 (مساحة النافذة \times معامل انتقال الحرارة الكلي \times الفرق في درجة الحرارة)
 $(20 \times 4,48 \times 7,5) + (20 \times 1,35 \times 5)$

$$135 + 672 = 807 \text{ واط}$$

معدل الكسب الحراري الداخلي كما في المثال الأول $Q_i = 860$ واط
 معدل فقدان الحرارة نتيجة للتهوية الطبيعية Q_v

السعة الحرارية للهواء \times معدل تغير الهواء \times الحرارة النوعية الحجمية للهواء
 $1300 \times 0,02 \times 20 = 520$ واط

وبالتالي $Q_m = 860 + 807 - 520 = 1147$ واط
 وبالتالي يكون الجهاز المناسب للتدفئة = $1,2$ كيلواط.

التدفئة بواسطة الهواء الحار.

في المثال الثاني كان معدل الحرارة المطلوبة هو $1,2$ كيلواط = 1200 واط.
 وهنا أيضا يمكننا افتراض أن درجة حرارة الهواء الراجع إلى جهاز التدفئة = 20°م .
 وفي حالة استعمال الهواء للتدفئة يجب أن تكون درجة حرارة الهواء القادم من
 الجهاز في حدود 30°م .

الفرق في درجة الحرارة = $30 - 20 = 10^{\circ}\text{م}$.

$$Q_v = 1300 \times 7 \times 10 = 9100$$

$$1200 = 10 \times 7 \times 1300$$

$$1200 = 71300$$

وبالتالي يكون المعدل المطلوب لتدفق الهواء =

$$v = \frac{1200}{1300} = 0,9 \text{ متر مكعب/ثانية}.$$

المراجع

أولاً: المراجع العربية

- أبو العيتن، حسن سيد أحمد. أصول الجغرافيا المناخية، ط ٣. بيروت: دار النهضة العربية للطباعة والنشر، (١٩٨٥م).
- الإدارة العامة للأرصاد. البيانات المناخية لمدينة الرياض. الرياض: وزارة الدفاع والطيران المدني، (١٩٨٨م).
- الحولي، محمد بدر الدين. المؤثرات المناخية والعمارة العربية. بيروت: جامعة بيروت العربية، (١٩٧٥م).
- المقرن، خالد بن عبدالله. «العزل الحراري للمباني»، مجلة للمهندس، المجلد الثاني (١٤٠٩هـ/ ١٩٨٩م)، العدد الأول، الرياض، ص ٣٠ - ٤٠.
- المؤسسة العامة للكهرباء. العزل الحراري وفوائده في توفير الطاقة الكهربائية سواءً على المستهلك أو المنتج. الرياض: المؤسسة العامة للكهرباء، (١٩٨٦م).
- سميد، سعيد عبدالرحيم. «العزل الحراري في المباني»، مجلة للمهندس، العدد الثاني، (١٩٨٧م) اللجنة الهندسية، الرياض، (١٩٨٧م)، ص ٦ - ٧.
- سميد، سعيد عبدالرحيم. «متطلبات التظليل وتحديد زوايا الظلال واختيار التوجيه الأمثل للمباني والنوافذ في مدينة الرياض»، مجلة الدراسات الهندسية، كلية الهندسة - جامعة الإمارات، المجلد الرابع (١٩٩١م)، العدد الأول، ص ١ - ٢٩.
- طالب، عبد المهدي. «تصميم نافذة لتقليل أشعة شمس الصيف»، مجلة للمهندس، المجلد الثاني (١٤٠٩هـ/ ١٩٨٩م)، العدد الثاني ص ٧٨ - ٧٩.
- فتحي، حسن: الطاقة الطبيعية والمعمارة التقليدية، ط ١. بيروت: المؤسسة العربية للدراسات والنشر، (١٩٨٨م).
- فرمان، عبدالسلام محمود. «زوايا الظلال للمباني في دولة الإمارات العربية المتحدة مع حد الوقاية من الشمس»، مجلة الدراسات الهندسية، كلية الهندسة - جامعة الإمارات، المجلد الثاني (١٤٠٩هـ/ ١٩٨٩م)، العدد الأول، ص ٩٩ - ١٢٤.
- مصلحة الأرصاد - قسم المناخ. البيانات المناخية لمدينة الرياض. المملكة العربية السعودية: مصلحة الأرصاد (١٩٦٦ - ١٩٨١م).
- ميرزا، سامي عبدالكريم. «دراسة ميدانية عن تقليص الفاقد في الطاقة الكهربائية»، مجلة للمهندس، المجلد الثاني (١٤٠٩هـ/ ١٩٨٩م)، العدد الأول، الرياض، ص ٤٢ - ٤٩.

ثانياً: المراجع الإنجليزية

- Aikas, E. and Piiron, P. "Thermal Exchange of the Human Body in Extreme Heat". *Tech. Report No AMRL TDR - 63 - 86*. Ohio, USA: Wright Patterson Air Force Base, (1963).
- Al Megren, Kh. A. "Wind Towers for Passive Ventilation Cooling in Hot - Arid Regions". *Doctor Dissertation*, the University of Michigan, (1987).
- Ambler, H. R. "Notes on the Climate of Nigeria with Reference to Personnel". *The Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 58 (1955), 99 - 112.
- ASHRAE. Thermal Comfort Conditions. *ASHRAE Standards 55 - 66*. New York (1966).
- ASHRAE. *ASHRAE GUIDE*. American Society of Heating, Ventilating and Air Conditioning Engineers, (1985).
- Attia, M. and Khogali, M. *Set - Point Shift in Thermoregulatory Adaptation and Heat Stroke - Heat Stroke and Temperature Regulation*. London, New York: Academic Press, (1983).
- Atkinson, G. A. "An Introduction to Tropical Building Design", *Architectural Design*, xxiii, (1953), 268 p.
- Bedford, T. The Warmth Factor in Comfort at Work: A Physiological Study of Heating and Ventilation. *Industrial Health Board Report*, No. 76. HMSO, London, (1936).
- Belding, H. S. and Hatch, T. F. "Index for Evaluating Heat Stress in Terms of Resulting Physiological Strain". *Heating, Piping, Air - Conditioning*, Vol. 27 (1955), 129.
- Carroll, D. P. and Visser, J. "Direct Measurement of Convective Heat Loss From the Human Subject", *Rev. Sci. Inst.*, Vol. 37 (1966), 1174 -1180.
- Critchfield, J. Housard. *General Climatology*, 2nd ed. New Jersey: Prentice - Hall, (1966).
- Crowther, R. L. *Sun Earth*. New York: Charles Scribners Sons, (1977).
- Deiter, Holm. *Energy Conservation in Hot Climates*. London: The Architectural Press, (1983).
- Diamant, R. M. E. *Insulation of Building, Thermal and Acoustic*. London: Iliffe Books Ltd., (1965).
- Dill, D. B. and Forbes, W. H. "Respiratory and Metabolic Effects of Hypothermia". *American Journal of Physiology*, Vol. 132 (1941), 685 - 694.
- Drysdale, J. W. *Physiological Study No 2, Technical Study 32.*, Commonwealth Exp. Blg. Station, Sydney, (1950).
- Dufton, A. F. "The Equivalent Temperature of a Warmed Room". *JIHVE*, Vol. 4 (1936), 181 - 183.
- Eliss, F. P. "Thermal Comfort in Warm Humid Atmospheres, Observations in a Warship in the Tropics". *Journal of Hygiene*, Cambridge, Vol. 50 (1950), 415 - 432.
- Fanger, P. O. *Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering*. New York: McGraw - Hill, (1972).
- Fisk, D. J. *Thermal Control of Buildings*. London and New Jersey: Applied Science Publishers, (1981).
- Gagge, A. P.; Burton, A. C. and Bazelt, H. C. "A Practical System of Units for the Description of the Heat Exchange of Man with His Thermal Environment". *Science NY*, Vol. 94 (1941), 428 - 430.
- Givoni, B. "Estimation of the Effect of Climate on Man, Development of a New Thermal Index". *Research Report to UNESCO*, Building Research Station, Technion, Haifa, (1963).
- Givoni, B. *Man Climate and Architecture*, 2nd ed. London: Applied Science Publishers Ltd., (1981).

- Givoni, B. "Ventilation Problems in Hot Countries", *Research Report to Ford Foundation*. Building Research Station, Technion, Haifa (1968).
- Keating, W. R. "Exceptional Case of Survival in Cold Water", *British Medical Journal*, 40 (1986), 171 - 172.
- Kerslake, D. MCK. *The Stress of Hot Environments*. Cambridge, London: Cambridge University Press, (1972).
- Koenigsberger, O.; Ingersoll, T.; Alan, May-hew and Szokolay, S. *Manual of Tropical Housing and Building, Part 1: Climatic Design*. London: Longman, (1973).
- Konya, Allan. *Design Primer for Hot Climates*. London: The Architectural Press Ltd., (1984).
- Kuehn, L. A.; Stubbs, R. A. and Weaver, R. S. "Theory of the Globe Thermometer". *J. Appl. Physiol.*, Vol. 29 (1970), 750 - 757.
- Macpherson, R. K. Studies in the Preferred Thermal Environment. *Architectural Science Review*, Vol. 6, No 4, (1963).
- Markus, T. A. "Cost - benefit Analysis in Building Design, Problems and Solutions", *JAR* (1976) 22 - 33.
- McAriel, B.; Dunham, W.; Holling, H. E.; Ladell, W.S.S.; Scot, J.W. ; Thomson, M. L. and Weiner, J. S. "The Prediction of the Physiological Effect of Warm and Hot Environments". *Med. Res. Council R.N.P.* 47 /39/. H.S. (1946/1947).
- McCutchan, J. M. and Taylor, C. L. "Respiratory Heat Exchange with Varying Temperature and Humidity of Inspired Air". *A. F. Tech. Report*, No. 6023, Ohio, USA: Wright - Patterson Air Force Base, (1950).
- McIntyre, D. A. *Indoor Climate*. London: Applied Science Publishers Ltd., (1980).
- Melargno, M.G. *Wind in Architectural and Environmental Design*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, (1982).
- Milne, M. and Givoni, B. Architectural Design Based on Climate, In. Donald Watson, N. Y. (Ed.); *Energy Conservation Through Building Design*. McGraw Hill Book Company, (1979), 97 - 113.
- Missenard, A. "On Thermally Equivalent Environments". *JIHVE*, Vol. 27 (1959), 231 - 237.
- Mitchell, D.; Wyndham, C. H.; Vermeulen, A. J.; Hodgson, T.; Atkins, A.R. and Hofmeyer, H.S. "Radiant and Convective Heat Transfer of Nude Men in Dry Air", *J. Appl. Physiol.*, Vol. 26 (1969), 111-118.
- Mukhtar, Y. A. "Experimental Investigations into the Performance of Current Forms of Roofs in Northern Sudan", *Building Services Engineering Research and Technology*, Vol. 2 (1981), No. 3, 140 - 147.
- Nishi, Y. and Gagge, A. P. "Direct Evaluation of Convective Heat Transfer, Coefficient by Naphthalene Sublimation". *J. Appl. Physiol.*, Vol. 29 (1970), 830- 838.
- Nishi, Y. and Gagge, A. P. "A Psychrometric Chart for Graphical Prediction of Comfort and Heat Tolerance". *ASHRAE Trans.*, Vol. 80 (1974), (2), 115 - 130.
- Norbert, Lechner. *Heating, Cooling and Lighting, Design Methods for Architects*, USA: John Wiley & Sons, (1991).
- Olgay, V. and Olgay, A. *Design with Climate*, Princeton N. J.: Princeton University Press, (1963).
- Perbury, P. *Building for Energy Conservation*. London: The Architectural Press Ltd., (1978).

- Robertshaw, David. *Contributing Factors to Heat Stroke , Heat Stroke and Temperature Regulation*. London , N.Y.: Academic Press, (1983).
- Saeed, S. A. R. "Indoor Climate as a Function of Building Orientation". *International Journal of Ambient Energy*, London (1987), 41 - 47.
- Saeed, S.A. R. Thermal Performance of Low - cost Housing with Special Reference to Central Sudan. *Ph.D. Thesis*, Strathclyde University, Glasgow, (1975).
- Saeed, S. A. R. "Climate and Socioeconomic Influence on House Design, With Special Reference to the Hot Dry Regions of Saudi Arabia and Sudan". *Journal of King Saud University, Architecture and Planning*, Vol. 1, (1989), 37-55.
- Shibolet, S; Lancaster , M. C. and Danon, Y. "Heat Stroke", *A Review: Space Environmental Med.*, 47 (1976), 280 - 301.
- Saini, Balwant Singh. *Building in Hot Dry Climates*. Chichester, New York, Brisbane, Toronto: John Wiley & Sons, (1980) .
- Szokolay, S. V. *Environmental Science Handbook for Architects and Builders*. Lancaster, London, New York: The Construction Press, (1980).
- Szokolay, S. V. "Climate Analysis Based on the Psychrometric Chart", *The International Journal of Ambient Energy*, Vol. 7, No 4, Oct. (1986), 171 - 182 .
- Tavassoli, Mahmood. *Urban Structure and Architecture in the Hot Arid Zone of Iran, Design for Arid Regions*. New York: Van Nostrand Reinhold, (1982).
- Trewartha, G.T. *An Introduction to Climate*. N.Y.: McGraw-Hill, (1954) .
- Van Straaten, J. F. *Thermal Performance of Buildings, Architectural Science Series*. Amsterdam, London, New York: Elsevier Publishing Company, (1967).
- Watson, D. *Climatic Design: Energy - Efficient Building Principles and Practice*. New York: McGraw Hill Book Company, (1983).
- Webb, C. G. "An Analysis of some observations of Thermal Comfort in an Equatorial Climate", *Brit. J. Industr. Med.*, Vol. 16 (1959), 297-310.
- Weiss, E. G. A. "Air Conditioning and Working Efficiency", *Architectural Science Review*, Vol. 2 (1959), 68 - 76.
- Winslow, C. E. A. "Objectives and Standards of Ventilation", *ASHVE Journal* , Vol . 32 (1926), 113 - 152.

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي - إنجليزي

Glare
Thermal equilibrium
Thermal stress
Hypothermia
Altitude
Radiation
Infra red rays
Sunlight rays
Optimum
Mechanism
Absorptivity
Emissivity
Deviation
Deep tissues
Flow
Air Flow
Thermal conductance

الإبهار
الانزان الحراري
الإجهاد الحراري
احتمال الموت نتيجة للبرودة الشديدة
الارتفاع العمودي عن سطح البحر
الإشعاع
أشعة تحت الحمراء
أشعة الشمس
الأفضل أو المثالي
آلية التركيب
الامتصاصية
الانبعاثية
الانحراف
الأنسجة الداخلية
انسياب
انسياب الهواء
الإيصال الحراري

Survival
Bioclimatic chart
Psychrometric chart
Built environment

البقاء
البياني الحيوي المناخي
بياني خواص الهواء
البيئة العمرانية ➔

ت

Lag effect	التباطؤ التدريجي
Temperature gradient	التدرج في درجات الحرارة
Pressure gradient	التدرج في الضغط الجوي
Percipitation	التساقط
Saturation	التشبع
Arrangement	التشكيل والترتيب
Metabolic rate	التفاعل الحيوي - التمثيل الغذائي
Condensation	التكثيف
Cross ventilation	التهوية العرضية
Induced cross ventilation	التهوية العرضية المستحثة
Conduction	التوصيل
Convection current	تيار الحمل
Thermal convection current	تيار الحمل الحراري
Forced convection current	تيار الحمل القسري

ج

Bearing wall	جدار حامل
Cavity wall	جدار مفرغ
Eupatheostat	جهاز التحكم في المناخ الحراري
Thermoregulatory system	جهاز تنظيم الحرارة
Electrical analog simulation	جهاز المحاكاة بالكهرباء

ح

Grains	الحبيبات
Radiant heat	الحرارة الإشعاعية
Latent heat of evaporation	حرارة التبخر الكامنة
Respiratory heat	حرارة التنفس
Normal atmospheric temperature	الحرارة الجوية الطبيعية
Specific heat	الحرارة النوعية

Thermal convection	الحمل الحراري
Thermal sensation	الحس الحراري
Heat storage	حفظ الحرارة
Cellular concrete	الخرسانة الخلوية
Foamed concrete	الخرسانة الرغوية
Thermophysical properties	الخصائص الحرارية الفيزيائية
Internal tissue temperature	درجة حرارة الأنسجة الداخلية
Corrected effective temperature	درجة الحرارة الفعالة المصححة
Absolute temperature	درجة الحرارة المطلقة
Dew point	درجة الندى
Dry bulb temperature	درجة حرارة الهواء
Ambient temperature	درجة حرارة الهواء المحيط
Metalic paints	الدهانات المعدنية
Physiological comfort	راحة الإنسان الفسيولوجية
Thermal comfort	الراحة الحرارية
Relative humidity	الرطوبة النسبية
Specific humidity	الرطوبة النوعية
Absolute humidity	الرطوبة المطلقة
Aluminium foil	رقائق الألومنيوم
Angle of declination	زاوية الانحراف
Absorptive glass	الزجاج الخازن للحرارة
Reflective glass	الزجاج العاكس
Fiber glass	الزجاج الليفي

Gaseous fluid

س

سائل غازي

Mat screen

ستارة من الخصير

Styro- foam

الستيروفوم

Suction

السحب

Absolute zero

ص

الصفر المطلق

Glass wool

الصوف الزجاجي

Kinetic energy

ط

الطاقة الحركية

Passive solar energy

الطاقة الشمسية السلبية

Claustra brick

الطوب الزخرفي

Spectrum

الطيف

Electro-magnetic spectrum

طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي

Optical reflectivity

ع

عاكسية الضوء

Lee ward

عكس اتجاه الرياح

Meteorology

علم الأرصاد الجوي

Aerodynamics

علم الرياح

Climatology

علم المناخ

Climatic elements

العناصر المناخية

Inert gas

غ

الغاز الخامل

Cloud cover

غطاء السحب

Over heated period

ف

الفترة الحارة

Thermal loss

الفقدان الحراري

Galvanized steel

الفولاذ المجلفن

Heat flux

الفيض الحراري

Standard	قياسي
Thermal gain	الكسب الحراري
Opaque material	مادة غير منفذة للأشعة
Combination	المجموعة المؤتلفة
Comfortable environment	المحيط المريح
Range	مدى
Diurnal range	المدى الحراري اليومي
Hypothalamus	مركز التحكم في نشاط جسم الإنسان
Metabolic level	مستوي التفاعل الحيوي
Conditions of equal comfort	مستويات الراحة الحرارية
Eye-level	مستوى النظر
Clo-value	معامل العزل الحراري للملابس
Correlation coefficient	معامل ارتباط
Glass shading coefficient	معامل حجب الزجاج
Rate of heat flow	معدل تدفق الحرارة
Effective temperature index	معيار درجة الحرارة الفعالة
Standard effective temperature index	معيار درجة الحرارة الفعالة القياسية
Surface resistance	مقاومة السطح
Subjective temperature index	المعيار الشخصي للإحساس الحراري
Thermal resistance	المقاومة الحرارية
Microclimate	المناخ المحلي أو الموضعي
Thermal transmittance	المنافذة الحرارية
Fibrous materials	المواد الليفية
Electro magnetic waves	الموجات الكهرومغناطيسية
Thermal conductivity	الموصلية الحرارية

ثانياً: إنجليزي - عربي

A

Absolute humidity	الرطوبة المطلقة
Absolute temperature	درجة الحرارة المطلقة
Absolute zero	الصفر المطلق
Absorptivity	الامتصاصية
Absorptive glass	الزجاج الخازن للحرارة
Aerodynamics	علم الرياح
Air flow	انسياب الهواء
Altitude	الارتفاع العمودي عن سطح البحر
Aluminum foil	رقائق الألومنيوم
Ambient temperature	درجة حرارة الهواء المحيط
Angle of declination	زاوية الانحراف
Arrangement	التشكيل والترتيب

B

Bearing wall	جدار حامل
Bioclimatic chart	البياني الحيوي المناخي
Breeze	النسيم
Built environment	البيئة العمرانية

C

Cavity wall	جدار مفرغ
Cellular concrete	خرسانة خلوية ذات خلايا هوائية
Claustra brick	الطوب الزخرفي
Climatic elements	العناصر المناخية
Climatology	علم المناخ
Cloud cover	غطاء السحب
Clo - value	معامل العزل الحراري للملابس
Combination	مجموعة مؤلفة

Comfortable environment	المحيط المريح
Condensation	تكثيف
Conditions of equal comfort	مستويات الراحة الحرارية المتماثلة
Conduction	التوصيل
Convection current	تيار الحمل
Corrected effective temperature	درجة الحرارة الفعالة المصححة
Correlation coefficient	معامل ارتباط
Cross ventilation	التهوية العرضية
D	
Deep tissues	الأنسجة الداخلية
Deviation	الانحراف
Dew point	درجة الندى
Diurnal range	المدى الحراري اليومي
Dry bulb temperature	درجة حرارة الهواء
Dry bulb thermometer	ميزان الحرارة الجافة
E	
Effective temperature index	معيان درجة الحرارة الفعالة
Electrical analog simulation	جهاز المحاكاة بالكهرباء
Electro - magnetic spectrum	طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي
Electro - magnetic waves	الموجات الكهرومغناطيسية
Emissivity	الانبعاثية
Eupatheostat	جهاز التحكم في المناخ الحراري
Eye - level	مستوى النظر
F	
Fiber glass	الزجاج الليفي
Fibrous materials	المواد الليفية
Flow	الانسياب

Foamed concrete	الحرسانة الرغوية
Forced convection current	تيار الحمل القسري
G	
Gaseous fluid	السائل الغازي
Galvanized steel	الفولاذ المجلفن
Glare	الإبهار
Glass shading coefficient	معامل حجب الزجاج
Glass wool	الصوف الزجاجي
Grain	الحبيبات
H	
Heat capacity	السعة الحرارية
Heat flux	الفيض الحراري
Heat regulation mechanism	نظم ووسائل ضبط الحرارة
Heat sensation	الحس الحراري
Heat storage	حفظ الحرارة
Hypothalamus	مركز التحكم في نشاطات جسم الإنسان
Hypothermia	احتمال الموت نتيجة للمبرد الشديد
I	
Induced cross ventilation	التهوية العرضية المستحثة
Inert gas	الغاز الخامل
Infra red rays	الأشعة تحت الحمراء
Inlet vent	فتحة دخول الهواء
Internal tissue temperature	درجة حرارة الأنسجة الداخلية
K	
Kinetic energy	طاقة حركية
L	
Lag effect	التباطؤ التدريجي
Latent heat of evaporation	حرارة التبخر الكامنة

Lee ward	M	عكس اتجاه الرياح
Mat screen		ستارة من الحصى
Mechanism		آلية أو تركيبة
Metabolic rate		التفاعل الحيوي - التمثيل الغذائي
Metabolic level		مستوى التفاعل الحيوي
Metabolism		هضم الطعام أو التفاعل الحيوي
Metalic paints		الدهانات المعدنية
Meteorology		علم الأرصاد الجوي
Microclimate		المناء المحلي أو الموضعي
Mineral wool		الصوف المعدني
	N	
Normal atmospheric temperature	O	الحرارة الجوية الطبيعية
Opaque material		مادة غير منقذة للأشعة
Optical reflectivity		عاكسية الضوء
Optimum		الأفضل أو المثالي
Out let window		نافذة خروج الهواء
Over heated period		الفترة الحارة
	P	
Passive solar energy		الطاقة الشمسية السلبية
Physiological comfort		راحة الإنسان الفسيولوجية
Percipitation		تعني جميع أنواع التساقط
Pressure gradient		التدرج في الضغط الجوي
Psychrometric chart		بياني خواص الهواء
	R	
Radiant heat		حرارة إشعاعية
Radiation		الإشعاع

Range	المدى
Rate of heat flow	معدل تدفق الحرارة
Reflective glass	الزجاج العاكس
Relative humidity	الرطوبة النسبية
Respiratory heat	حرارة التنفس
Saturation	التشبع
Shaft	ممر رأسي
specific heat	الحرارة النوعية
Specific humidity	الرطوبة النوعية
Spectrum	الطيف
Standard	القياسي
Standard effective temperature index	معيّار درجة الحرارة الفعالة القياسية
Styro foam	الستيروفوم
Suction	السحب
Sunlight rays	أشعة الشمس
Subjective temperature index	المعيار الشخصي للإحساس بالحرارة
Surface resistance	مقاومة السطح
Survival	البقاء
Temperature gradient	التدرج في درجات الحرارة
Thermal comfort	الراحة الحرارية
Thermal conductance	الإيصال الحراري
Thermal conductivity	الموصلية الحرارية
Thermal convection current	تيار الحمل الحراري
Thermal equilibrium	الاتزان الحراري
Thermal gain	الكسب الحراري
Thermal loss	الفقدان الحراري

Thermal resistance	المقاومة الحرارية
Thermal stress	الإجهاد الحراري
Thermal transmittance	المنافذة الحرارية
Thermophysical properties	الخصائص الحرارية الفيزيائية
Thermoregulatory system	جهاز تنظيم الحرارة

كشاف الموضوعات

- ١
الاتزان الحراري ٣٩
إحساس الإنسان بالحرارة ٤٩
الإشعاع ٢
الأشعة الحرارية ٥
الأشعة البنفسجية وفوق البنفسجية ٥
- ٢
البياني الحوي المناخي ٢٢
بياني مسار الشمس ١٥٢
- ٣
تبخر الماء ٨
تحديد درجات الحرارة اليومية ١٥٠
تدرج حراري ٧٨
التصميم المناخي لمدينة الرياض ٣٢
تنظيم الحرارة ٤٠
التهوية الطبيعية ١٦٧
التوصيل الحراري ٧٢
تيارات الحمل ٩٠
- ٤
حرارة الرياح ٦
حرارة نوعية ٩٧
حركة الشمس ١١٧
- ٥
درجة الحرارة الفعالة ٥٠
درجة الحرارة الفعالة القياسية ٥٥
درجة الحرارة الفعالة المصححة ٥٢
درجة الحرارة التكافؤ ٥٧
- ٦
الراحة الحرارية ٥٨
الرطوبة ٨
الرطوبة المطلقة ٩
الرطوبة النسبية ٩
الرطوبة النوعية ٨
- ٧
الزجاج الحافون للحرارة ٨٦
الزجاج العاكس للحرارة ٨٦
روايا الشمس ١٣٧
روايا الظلال ١٤٠
- ٨
السعة الحرارية ٧٢
- ٩
ضغط بخار الماء ٨
- ١٠
طريقة فتح النافذة ١٩٣

- معامل الحجب الخاص بالزجاج ٩٠
- معدل تدفق الحرارة ٧٤
- مقاييس الحرارة ٦
- ملاقف الهواء ٢٠١
- منقلة الظلال ١٤٧
- المناخ الاستوائي ١٠
- مناخ البحر الأبيض المتوسط ١٤
- المناخ الحار الجاف ١٨
- المناخ الحار الرطب ١٩
- مناخ الحشائش المعتدلة ١٥
- المناخ القاري المعتدل ١٥
- المناخ القطبي ١٥
- المناخ المداري ٢٠
- المناخ المعتدل ١٤
- المناخ المعتدل البحري ١٤
- المناخ المعتدل الدافئ ٢١
- موقع الفتحات ١٩١

خ

- المزل الحراري ١٠٣
- علم المناخ ١
- العناصر المناخية ١

ف

- الفترة الحارة ١٤٩
- الفراغات الهوائية ٩٣
- الفواصل الداخلية ١٩٦

ك

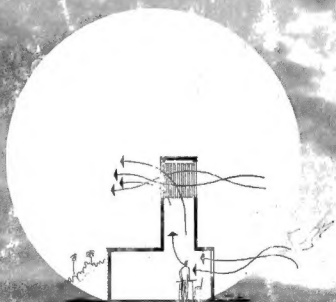
- كاسرات الشمس ١١٩
- كثافة الفيض الحراري ٧٢

م

- محصلة درجة الحرارة ٥٢
- مساحة الفتحات ١٨٦
- المسطحات الزجاجية ١٢٢
- معامل الانعكاس ٨٠
- معامل انتقال الحرارة ٧٦
- معامل الانعكاس ٨٧

الأستاذ الدكتور سعيد عبدالوحييم سعيد بن عوف

- ولد بمدينة عطبرة - الولاية الشمالية، السودان، سنة ١٩٤٣م.
- حصل على بكالوريوس الهندسة المعمارية من كلية الهندسة والمعمار - جامعة الخرطوم، ونال جائزة ميرغني حمزة، (١٩٦٣ - ١٩٦٩م).
- عمل مساعد تدريس بقسم المعمار - كلية الهندسة والمعمار - جامعة الخرطوم (١٩٦٩ - ١٩٧٠م).
- حصل على منحة من المجلس البريطاني للدراسة في الجامعات البريطانية (١٩٧٠م).
- حصل على دبلوم العمارة (١٩٧٠م - ١٩٧١م) تخصص إسكان من :
The Architectural Association, Department of Development and Tropical Studies, London.
- حصل على دكتوراه من قسم العمارة وعلوم البناء - جامعة استرالياكلويد - جلاسجو - بريطانيا (١٩٧١م - ١٩٧٥م).
- عمل أستاذا مساعدا - كلية الهندسة والمعمار، جامعة الخرطوم (١٩٧٥م - ١٩٨٠م).
- عمل أستاذا مساعدا - كلية العمارة والتخطيط - جامعة الملك سعود - الرياض (١٩٨٠ - ١٩٨٩م).
- عمل أستاذا مشاركا - كلية العمارة والتخطيط - جامعة الملك سعود - الرياض (١٩٨٩م - ١٩٩٧م).
- تمت ترقيته إلى درجة أستاذ بجامعة الملك سعود، ١٩٩٧م.
- يعمل منذ سبتمبر ١٩٩٧م عضوا بالهيئة التدريسية - كلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية والمعمارية - جامعة البحرين.
- عمل مستشارا لقسم الطاقة والمباني - مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية (١٩٩٣-١٩٩٥م).
- شارك في العديد من المؤتمرات والتدورات العلمية المحلية والعالمية.
- تمتحن خارجي بقسم العمارة - كلية الهندسة والعمارة جامعة الخرطوم لمدة عامين (١٩٩٣ - ١٩٩٤م).
- قام بنشر العديد من البحوث في المجلات العلمية المتخصصة في مجالات المناخ والعمارة، و ترشيد استهلاك الطاقة والعمارة، ومتطلبات الراحة الحرارية.
- أسهم في تأليف كتاب باللغة الإنجليزية بعنوان :
An Analytical Study of the Building Production Systems Recently Introduced in Saudi Arabia.
- والذي طبع سنة ١٩٨٦م بمطبعة جامعة الملك سعود ويتمويل من مجلة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية.



ردمك: ٩٩٦٠-٥-٦٦١-٩

ISBN: 9960-05-661-9